

ÜBERPRÜFUNG EINES LOGISTISCHEN
REGRESSIONSMODELLS ZUR BERECHNUNG DES
VORKOMMENS VON *GALBA TRUNCATULA* ALS
GRUNDLAGE ZUR KARTOGRAPHISCHEN
DARSTELLUNG VON RISIKOGEBIETEN FÜR DAS
AUFTRETEN VON *FASCIOLA HEPATICA* IN BAYERN

von Eva Barbara Schade-Weskott

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

ÜBERPRÜFUNG EINES LOGISTISCHEN
REGRESSIONSMODELLS ZUR BERECHNUNG DES
VORKOMMENS VON *GALBA TRUNCATULA* ALS
GRUNDLAGE ZUR KARTOGRAPHISCHEN
DARSTELLUNG VON RISIKOGEBIETEN FÜR DAS
AUFTRETEN VON *FASCIOLA HEPATICA* IN BAYERN

von Eva Barbara Schade-Weskott

aus Augsburg

München 2019

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin der Tierärztlichen
Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Innere Medizin und Chirurgie der Wiederkäuer

Arbeit angefertigt unter der Leitung von:
Univ.-Prof. Dr. Gabriela Knubben-Schweizer

Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Gabriela Knubben-Schweizer

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Markus Meißner

Tag der Promotion: 25. Februar 2019

Meiner Familie

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG	1
II.	LITERATURÜBERSICHT	3
1.	Vorkommen der Fasciolose	3
2.	Der Erreger <i>Fasciola hepatica</i>.....	4
2.1.	Lebenszyklus	4
2.2.	Klinik.....	7
3.	Der Zwischenwirt <i>Galba truncatula</i>	7
3.1.	Morphologie	8
3.2.	Lebenszyklus	8
3.3.	Wanderverhalten und Verbreitung	9
3.4.	Lebensraum	10
3.5.	Andere Zwischenwirte für <i>Fasciola hepatica</i>	11
4.	Prävalenz.....	13
5.	Bekämpfung.....	16
6.	Wirtschaftliche Bedeutung der Fasciolose.....	17
7.	Risiko- und Vorhersagemodelle für Fasciolose	18
7.1.	Interaktive Karte der Schweiz von RAPSCH et al. (2008)	22
7.2.	Entwicklung logistischer Regressionsmodelle zur Vorhersage des Vorkommens von Zwergschlammschnecken in der Schweiz	23
III.	MATERIAL UND METHODEN	24
1.	Projektbeschreibung	24
2.	Mathematische Modellierung.....	24
2.1.	Logistische Regressionsmodelle zur Vorhersage des Auftretens von <i>Galba truncatula</i> in der Schweiz	24
2.2.	Auswahl des <i>glmmLasso</i> -Modells.....	25
3.	Generierung des Datensatzes	27
3.1.	Gelände- und bodenabhängige Einflussgrößen	28
3.1.1.	Riet und Feuchtflächen.....	28
3.1.2.	Hangwasseraustritt	28

3.1.3.	Gewässer im Umkreis von 100 m	28
3.1.4.	Bäume und Sträucher	29
3.1.5.	Gründigkeit.....	29
3.1.6.	Wasserspeichervermögen.....	30
3.2.	Temperaturvariablen	31
3.2.1.	Datengranularität und – zeitraum	32
3.2.2.	Datenbezugsquelle	32
3.2.3.	Auswahl repräsentativer Wetterstationen.....	32
3.2.3.1.	Auswahl der Wetterstationen für die Interpolation	33
3.2.3.2.	Interpolationsverfahren	33
4.	Durchführung der Felduntersuchungen	35
4.1.	Untersuchungsgebiet	35
4.2.	Zeitraum der Felduntersuchungen.....	35
4.3.	Potenzielle Fundorte.....	36
4.3.1.	Potenzieller Fundort I.....	36
4.3.2.	Potenzieller Fundort II	37
4.3.3.	Potenzieller Fundort III	38
4.3.4.	Potenzieller Fundort IV	38
4.3.5.	Potenzieller Fundort V	39
4.4.	Identifikation der Schnecken.....	40
5.	Erstellen der Risikokarten.....	40
5.1.	Rasterung und Codierung.....	41
5.1.1.	Temperaturvariablen	41
5.1.2.	Gelände- und bodenabhängige Einflussgrößen.....	42
5.1.2.1.	Bäume und Sträucher	42
5.1.2.2.	Gewässer im Umkreis von 100 m	42
5.1.2.3.	Hangwasseraustritt, Riet und Feuchtflächen	42
5.1.2.4.	Gründigkeit.....	42
5.1.2.5.	Wasserspeichervermögen.....	43
5.2.	Das Programm QGIS	43
5.3.	Kartendesign.....	43
5.4.	Kartenanzahl.....	44
6.	Validierung der Karten	45
6.1.	Berechnung von Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktiven	

	Werten	45
6.2.	Korrelation	46
6.3.	Signifikanztest.....	47
7.	Beteiligte Institutionen.....	48
IV.	ERGEBNISSE	49
1.	Anzahl der <i>Galba truncatula</i>-Funde	49
2.	Mittels <i>glmmLasso</i> ermittelte Wahrscheinlichkeiten	51
3.	Erstellte Risikokarten	51
4.	Validierung der Karten	56
4.1.	Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktive Werte	56
4.2.	Korrelation und Signifikanztest	57
V.	DISKUSSION	59
1.	Stärken und Schwächen des zugrundeliegenden mathematischen Modells	59
2.	Datensatz	60
2.1.	Gelände- und bodenabhängige Einflussgrößen	61
2.1.1.	Geländeabhängige Einflussgrößen	61
2.1.1.1.	Riet, Feuchtflächen, Gewässer im Umkreis von 100 m, Hangwasseraustritt	61
2.1.1.2.	Bäume und Sträucher	62
2.1.2.	Bodenabhängige Einflussgrößen.....	62
2.1.2.1.	Gründigkeit.....	63
2.1.2.2.	Wasserspeichervermögen.....	64
2.2.	Temperaturvariablen	65
3.	Durchführung der Felduntersuchungen und Validierung der Risikokarten.....	67
4.	Design der Risikokarten	68
5.	Anzahl der <i>Galba truncatula</i>-Funde	70
6.	Risikokarten.....	72
6.1.	Zeitliche Varianz	72
6.2.	Räumliche Varianz	73

7.	Validierung	75
7.1.	Berechnung von Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktiven Werten	75
7.2.	Korrelation und Signifikanztest	76
8.	Fazit	77
VI.	ZUSAMMENFASSUNG	81
VII.	SUMMARY.....	83
VIII.	LITERATURVERZEICHNIS	85
IX.	ANHANG	95
1.	Abbildungsverzeichnis	95
2.	Tabellenverzeichnis	96
3.	Tabellen des Anhangs	97
X.	DANKSAGUNG	129

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

bspw.	beispielsweise
β_0	Beta Null (Intercept)
β_p	Schätzer der Modellparameter
ca.	circa
cm	Zentimeter
Dr.	Doktor
dm	Dezimeter
ELISA	Enzyme-linked immunosorbent assay
e.V.	eingetragener Verein
ε	Eulersche Zahl
G	Gramm
GbR	Gesellschaft bürgerlichen Rechts
GIS	Geoinformationssystem
GLMM	Generalized linear mixed model
γ	gesuchter Wert
H	Schätzwert der Höhenregression
hPa	HektoPascal
IDW	Schätzwert der Inverse Distance Weight Methode
km	Kilometer
km²	Quadratkilometer
L	Logit
LASSO	Least Absolute Shrinkage and Selection Operator
Ln	Logarithmus naturalis
M	Meter
max	Maximal
mm	Millimeter
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
pH	Potentia hydrogenii
π_i	pi "i" (Wahrscheinlichkeit eines Schneckenfundes)
r^2	Bestimmtheitsmaß der Höhenregression
$\hat{\sigma}_x$	geschätzte Standardabweichung
Temp	Temperatur

WHO	World Health Organization
Wp	Potenzieller Wurzelraum
x_{ip}	Kovariablen
z	transformierte Variable
$^{\circ}\text{C}$	Grad Celsius
%	Prozent
=	gleich
>	größer als
<	kleiner als
≤	kleiner oder gleich

I. EINLEITUNG

Fasciolose ist eine parasitäre Erkrankung, die weltweit verbreitet ist und durch den Großen Leberegel *Fasciola hepatica* übertragen wird (MAS-COMA et al., 2005b). Um seinen Lebenszyklus zu durchlaufen und damit eine permanente Infektionsgefahr für viele herbivore Tiere und auch den Menschen darzustellen, ist *Fasciola hepatica* auf die Zwergschlammschnecke *Galba truncatula* als Zwischenwirt angewiesen. Die bovine Fasciolose verläuft zumeist chronisch und führt bei befallenen Rindern vor allem zu Leistungsabfall. Das Allgemeinbefinden ist zumeist nicht oder nur wenig gestört, es können jedoch Abmagerung und Inappetenz auftreten (GRÜNDER, 2006). Durch die verringerte Produktivität kommt es infolge verminderter Gewichtszunahme, Milchleistung und Fruchtbarkeit zu beträchtlichen wirtschaftlichen Einbußen (SCHWEIZER et al., 2005b). Eine Studie aus der Schweiz errechnete einen durchschnittlichen absoluten Verlust von 52 Millionen Euro pro Jahr (SCHWEIZER et al., 2005b). Dies ist insbesondere von Bedeutung, da von einer hohen und ansteigenden Prävalenz innerhalb Europas ausgegangen werden muss. In der Schweiz wurde eine Einzeltierprävalenz von 18,0 % ermittelt (RAPSCH et al., 2006), in Flandern betrug die Prävalenz auf Herdenebene 37,3 % (BENNEMA et al., 2009), in Tirol 60 % (DUSCHER et al., 2011) und in Deutschland 23,6 % (KUEPICK et al., 2013). Neueste Ergebnisse aus Bayern beziffern eine Herdenprävalenz von 46,6 % bei ökologisch wirtschaftenden und 35,8 % bei konventionell geführten Betrieben (SCHÄFFER, 2018). Auch darf nicht vernachlässigt werden, dass der Mensch neben seiner indirekten Betroffenheit infolge wirtschaftlicher Verluste bei landwirtschaftlichen Nutztieren auch direkt als Endwirt des Großen Leberegels infrage kommt. Eine Studie aus dem Jahre 2012 geht von 2,4 bis 17 Millionen infizierten Menschen weltweit aus (FÜRST et al., 2012) und veranlasste die WHO vor Fasciolose als „vernachlässigte Krankheit“ mit steigender Prävalenz zu warnen (http://www.who.int/neglected_diseases/integrated_media/integrated_media_fascioliasis/en/).

Die weltweite Verbreitung, die große wirtschaftliche Bedeutung und die hohe Prävalenz der bovinen Fasciolose weisen auf die Relevanz von Hilfsmitteln wie Risikokarten hin, die risikoreiche Regionen sichtbar machen und somit zur Einleitung von Prophylaxe- und Bekämpfungsmaßnahmen führen können.

Da die Zwergschlammschnecke stark von Umwelt- und Klimabedingungen abhängig ist, basieren viele entwickelte Risikomodelle auf entsprechenden Variablen. Das erste Modell entwickelten OLLERENSHAW und ROWLANDS (1959). Es folgten viele weitere Modelle, sowohl für Europa (OLLERENSHAW, 1966; MCILROY et al., 1990; RAPSCH et al., 2008; MCCANN et al., 2010; BENNEMA et al., 2011; OLSEN et al., 2015a), als auch für die USA und für Südamerika (MALONE et al., 1987; MALONE und ZUKOWSKI, 1992; ZUKOWSKI et al., 1993; DUTRA et al., 2010) sowie für den afrikanischen Kontinent (MALONE et al., 1998; YILMA und MALONE, 1998), Australien (DURR et al., 2005) und den asiatischen Raum (TUM et al., 2007). Die wenigsten dieser Modelle wurden validiert. Eine Ausnahme stellt die Arbeit von Frau Dr. Baggenstos dar (BAGGENSTOS et al., 2016), die sich mit der Validierung einer interaktiven Karte für die Schweiz befasst, welche von RAPSCH et al. (2008) erstellt wurde. Hierbei konnte nur eine mäßige Sensitivität sowie Spezifität festgestellt werden.

Um eine verbesserte Risikokarte der Schweiz herstellen zu können, entwickelte RÖBLER (2016) für die Schweiz zwei logistische Regressionsmodelle zur Vorhersage des Auftretens von *Galba truncatula*. Diese beiden Modelle wählten jeweils aus 70 klima- und bodenabhängigen Variablen, die auf Literaturangaben basierend vorselektiert wurden, eine Anzahl an Variablen aus, die einen Einfluss auf das Vorkommen von *Galba truncatula* ausüben. Beide Regressionsmodelle wurden als erster Schritt hinführend zu einem umfassenden Transmissionsmodell entwickelt.

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit der Anwendung und Validierung eines der beiden Regressionsmodelle auf ein kleines Gebiet im Allgäu. Mithilfe des Modells wurde eine Risikokarte des Gebietes erstellt, deren Raster 100 m x 100 m beträgt. Diese Karte wurde im Anschluss mittels Felduntersuchungen validiert. Somit ist diese Arbeit ein wichtiger und notwendiger Zwischenschritt auf dem Weg zu einer großräumigen Risikokarte, mithilfe derer notwendige Schritte zur Bekämpfung der Fasciolose eingeleitet werden können.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Vorkommen der Fasciolose

Die Fasciolose wird durch *Fasciola hepatica* oder *Fasciola gigantica* verursacht und kommt heutzutage weltweit vor. Dabei findet man *Fasciola hepatica* in Europa, Amerika, Ozeanien, Afrika und Asien, wohingegen *Fasciola gigantica* nur in tropischen Regionen wie Afrika und Asien in Erscheinung tritt (MAS-COMA et al., 2005a).

Die Ausbreitung von *Fasciola hepatica* über den europäischen Ursprung hinaus, erfolgte durch den Export europäischen Viehbestandes. Die Möglichkeit verschiedenste herbivore Säugetiere als Endwirte zu nutzen sowie die Anpassung an „neue“ Endwirte wie beispielsweise Lamas, Alpakas, Kamele und Kängurus vereinfachte die Expansion der Fasciolose. Außerdem zeigte sich *Fasciola hepatica* als sehr anpassungsfähig an zunächst ungastlich wirkende Gegenden wie extreme Höhenlagen von bis zu 4100 Metern (MAS-COMA et al., 2005a).

Ein weiterer Grund der Expansion ist die Verbreitung des europäischen Zwischenwirts *Galba truncatula*, einer Schnecke der Familie *Lymnaeidae*. Diese gelangte ebenfalls durch Viehtransport auf andere Kontinente und steht somit auch außerhalb Europas als Zwischenwirt zur Verfügung. Außerdem kann *Fasciola hepatica* viele andere Spezies der Familie *Lymnaeidae* als Zwischenwirt nutzen (MAS-COMA et al., 2005a).

Fasciola gigantica hat im Vergleich ein schmaleres Verbreitungsspektrum, was eventuell dadurch bedingt ist, dass sich die Zwischenwirte *Radix natalensis* und *Radix auricularia*, weitere Spezies der Familie *Lymnaeidae*, weniger weit ausbreiten können (MAS-COMA et al., 2005a).

Zu beachten ist auch, dass der Mensch als weiterer Endwirt in Frage kommt. Die Fasciolose ist mittlerweile als wichtige Zoonose bekannt, die von ansteigender Bedeutung ist. Wurden in den Jahren vor 1992 die Fälle menschlicher Erkrankungen auf unter 3000 geschätzt, so spricht man heutzutage von 2,4 – 17 Millionen Erkrankten und weiteren 9,1 Millionen Menschen, die in Gefahr einer Infektion leben. Die Ansteckung erfolgt durch den Verzehr von Wasserpflanzen wie Brunnenkresse, durch das Trinken von unbehandeltem Wasser oder auch das

Waschen von Gemüse mit kontaminiertem Wasser (ROBINSON und DALTON, 2009). Betroffene Länder sind vor allem die Andenländer, Kuba, Ägypten, Iran und seine Nachbarländer sowie Portugal, Spanien und Frankreich in Europa. Die höchsten Prävalenzzahlen betreffen dabei das Nördliche Altiplano in Bolivien, wo über Stuhl- und Blutuntersuchungen Prozentzahlen zwischen 72 % und 100 % festgestellt wurden (MAS-COMA et al., 2005a).

Die Fasciolose ist demnach mittlerweile zu der vektor-übertragenen parasitären Erkrankung mit der größten Verbreitung bezüglich Längen- und Breitengrade sowie Höhenlagen geworden (MAS-COMA et al., 2005a) und ist auf allen Kontinenten außer der Antarktis zu finden (ROBINSON und DALTON, 2009).

2. Der Erreger *Fasciola hepatica*

2.1. Lebenszyklus

Der Lebenszyklus des Großen Leberegels ist diheteroxen. Dies bedeutet, dass er sowohl einen Endwirt als auch einen Zwischenwirt benötigt, um seinen Lebenszyklus komplett durchlaufen zu können. Als Endwirt kommen unterschiedliche Säugetiere wie Schafe, Rinder oder auch der Mensch in Frage, als Zwischenwirt fungiert die Zwergschlammschnecke *Galba truncatula*. Eine Veranschaulichung des Lebenszyklus‘ bietet Abbildung 1.

Die Entwicklung verläuft wie folgt: Ei → Mirazidium → Sporozyste → Redie → Zerkarie → Metazerkarie → juveniles Stadium → adultes Stadium (DEPLAZES und ECKERT, 2013).

Vom Ei zum Mirazidium

Die adulten Leberegel befinden sich in den Gallengängen des Endwirtes und legen dort Eier ab, die mit der Galle über das Duodenum in den Kot gelangen. Pro Parasit können hierbei zwischen 5000 – 10.000 Eier täglich in die Außenwelt gelangen (GRÜNDER, 2006).

Erst in der Außenwelt vollzieht sich die Embryonierung der Eier. Die komplette Entwicklung kann nur erfolgen, wenn die Eier von Kot befreit wurden, was beispielsweise durch Niederschläge, Eiablage im Wasser oder Trampeln der Tiere geschehen kann (ANDREWS, 1999).

Diese Entwicklung kann auch nur dann stattfinden, wenn eine ausreichende Sauerstoffzufuhr vorhanden ist, die Eier in ein feuchtes Milieu gelangen und angemessene Temperaturen herrschen. Am geeignetsten sind Temperaturen zwischen 23 °C und 26 °C. Bei diesen Temperaturen dauert die Entwicklung zwei bis drei Wochen (THOMAS, 1883). Die Mindesttemperatur für eine Weiterentwicklung beträgt 10 °C (ANDREWS, 1999).

Im Ei wird nun das Mirazidium gebildet, das Lichtreize wahrnimmt, die als Signal zum Ausschlüpfen dienen. Ist es geschlüpft, beginnt es sofort mit großer Geschwindigkeit umher zu schwimmen, um einen geeigneten Zwischenwirt zu finden, von dem es ab einer Distanz von weniger als 15 cm chemotaktisch angelockt wird. Für diese Suche hat es ca. 24 Stunden Zeit ehe seine Glykogenvorräte aufgebraucht sind. Die Infektivität des Mirazidiums ist dabei temperaturabhängig und verläuft bei Temperaturen zwischen 15 °C und 26 °C optimal (DEPLAZES und ECKERT, 2013).

Entwicklung im Zwischenwirt

Das Mirazidium wird nach Eindringen in die Schnecke zur Sporozyste und wandert in die Verdauungsdrüse. Dort entwickeln sich Redien, aus denen weitere Redien (drei Generationen) oder Zerkarien hervorgehen. Die Zerkarien verlassen die Schnecke ca. sieben Wochen nach ihrer Infektion. Dabei können sich aus einem Mirazidium bis zu einige Hundert Zerkarien entwickeln (DEPLAZES und ECKERT, 2013).

Die Metazerkarie

Die Zerkarien schwimmen nach dem Schlüpfen aus der Schnecke frei im Wasser umher, wobei sie oft ihre Richtung ändern. Sie heften sich dann innerhalb weniger Minuten bis zu zwei Stunden nach dem Schlupf an Objekte an (wie zum Beispiel Grashalme) und beginnen mit der Enzystierung. Kurz darauf ist die Metazerkarie für den Endwirt infektiös (ANDREWS, 1999).

Metazerkarien sind sehr widerstandsfähig und können, abhängig von Feuchtigkeit und Temperatur, bis zu über einem Jahr auf Weiden überleben. Außerdem können sie bis zu acht Monate in feuchtem Heu überdauern und bis zu elf Monate bei Temperaturen zwischen -3 °C - + 2 °C solange die Durchschnittstemperatur über dem Gefrierpunkt liegt (ANDREWS, 1999).

Entwicklung im Endwirt

Die Metazerkarien gelangen peroral in den Endwirt, indem er mit ihnen behaftete Pflanzenteile zu sich nimmt oder Wasser mit Schwimmzysten trinkt (DEPLAZES und ECKERT, 2013).

Im Endwirt gelangen sie in einem Zeitraum von etwa zwei bis vier Tagen nach Durchdringen der Darmwand in die Peritonealhöhle und von dort aus weiter zur Leber (GRÜNDER, 2006). Anschließend wandern sie für fünf bis sechs Wochen durch das Lebergewebe und gelangen dann ca. sieben Wochen post infectionem in die Gallengänge. Hier werden sie geschlechtsreif und legen etwa zwei bis drei Monate post infectionem Eier ab, die wiederum mit der Galle in den Dünndarm gelangen. Diese adulten Leberegel bleiben bis zu elf Monate im Endwirt vital (ANDREWS, 1999).

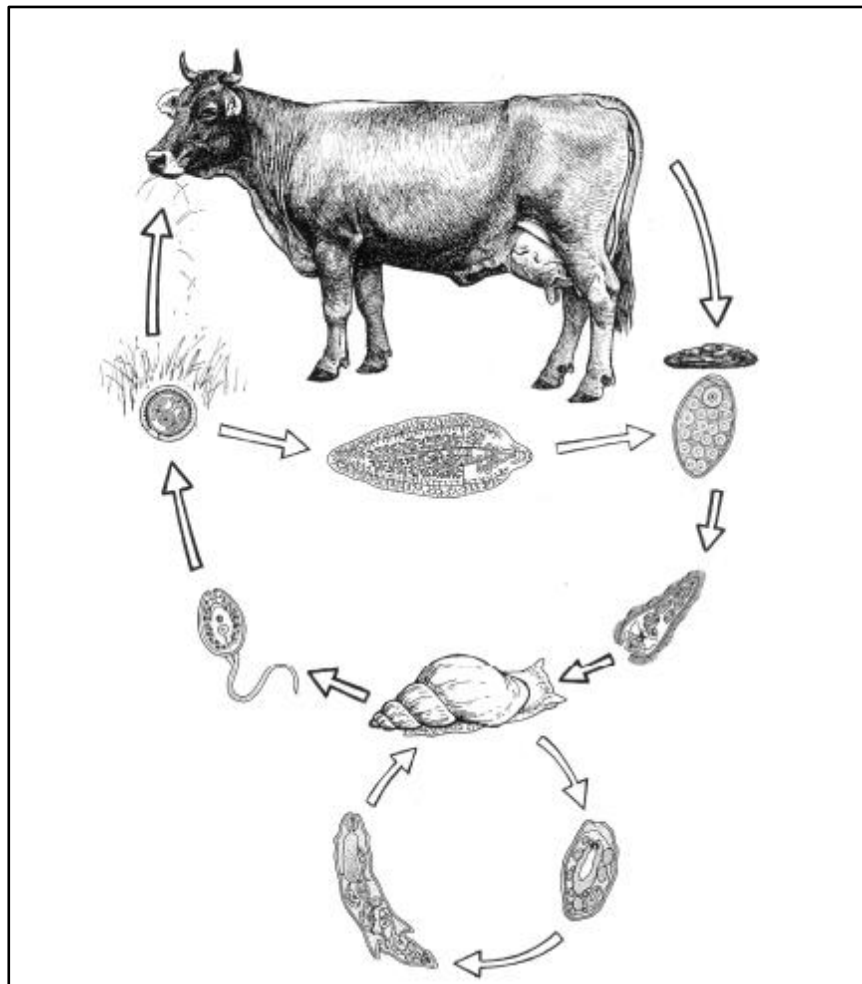


Abbildung 1: Entwicklungszyklus von *Fasciola hepatica* (Zeichnung von Matthias Haab, modifiziert nach (ECKERT et al., 2005))

2.2. Klinik

Die Krankheit Fasciolose kann in verschiedenen Formen auftreten. So kann sie bei geringem Befall asymptomatisch verlaufen und bei stärkerem Befall akut, subakut oder chronisch.

Die akute Form tritt beim Rind nur nach experimentellen Infektionen auf. Sie wird durch junge Leberegel ausgelöst, die in großer Zahl in die Leber wandern (SCHNIEDER, 2006). Hierbei kann es zu plötzlichen Todesfällen, blassen Schleimhäuten oder auch Schwäche kommen. In der Kotuntersuchung sind in diesem Stadium keine Eier zu finden (DEPLAZES und ECKERT, 2013).

Die subakute Form tritt beim Rind sehr selten auf und wird durch juvenile wandernde Egel sowie adulte Egel hervorgerufen. Die betroffenen Rinder fallen durch Inappetenz, Abmagerung, Apathie und auch vereinzelte Aborte auf. In diesem Stadium können Eier in der Kotuntersuchung nachgewiesen werden (SCHNIEDER, 2006).

Diese beiden Formen sind, wie bereits erwähnt, beim Rind eher selten und treten vor allem nach Masseninvasionen im Spätsommer oder Herbst auf (GRÜNDER, 2006).

Die häufigste Form der Fasciolose bei Rindern ist die chronische Form, die durch adulte Leberegel, die sich in den Gallengängen befinden, verursacht wird. Das Allgemeinbefinden der Rinder ist nur wenig oder nicht gestört, weswegen die Krankheit vom Tierbesitzer oft nicht erkannt wird. Im Vordergrund stehen Symptome des Leistungsabfalls. Es kann aber auch zu struppigem Haarkleid, Abmagerung, Inappetenz und veränderter Kotkonsistenz kommen. In der Kotuntersuchung können Leberegeleier gefunden werden, wobei die Eiausscheidung wechselhaft ist (GRÜNDER, 2006).

3. Der Zwischenwirt *Galba truncatula*

Als Zwischenwirt dient *Fasciola hepatica* in Europa zumeist die Zwergschlammschnecke *Galba truncatula*, die zur Ordnung der Lungenschnecken = Pulmonata gehört und eine Süßwasserschnecke ist (DEPLAZES und ECKERT, 2013).

3.1. Morphologie

Die Morphologie der Schnecken wird durch ihren Aufenthaltsort geprägt. So sind ihre Schalen in fließenden Bächen eher klein und erreichen nur selten eine Größe von bis zu 10 mm, wohingegen in ruhigeren Gräben häufiger Schalen dieser Größenordnung gefunden werden können. Es sind auch größere Vertreter beschrieben, die bis zu 14 mm lang werden und in Tümpeln beobachtet werden können. Allerdings werden nie Größen von über 16 mm erreicht, was ein Unterscheidungsmerkmal zur Sumpfschlammschnecke *Stagnicola palustris* darstellt (MEHL, 1932a).

Das Gehäuse der Zwergschlammschnecke weist einen hellen hornbraunen Farbton auf, ist kegelförmig und rechtsgewunden und weist als herausstechendes Merkmal einen Nabelritz auf (MEHL, 1932a; DEPLAZES und ECKERT, 2013).

3.2. Lebenszyklus

Die Schnecken werden bei Temperaturen von über 10 °C aktiv, wobei die für Wachstum und Fortpflanzung optimalen Temperaturen zwischen 18 °C und 27 °C liegen (TORGERSON und CLAXTON, 1999).

Die Entwicklung des Laichballens ist dann ebenfalls von der Wassertemperatur abhängig. So schlüpft die neue Generation bei Temperaturen von 10 °C nach etwa 19 Tagen, dagegen bei Temperaturen von 17 °C nach bereits 15 Tagen (MEHL, 1932a).

Nach etwa acht Wochen sind die frisch geschlüpften Schnecken dann geschlechtsreif, pflanzen sich durch Kopulation oder Selbstbefruchtung fort und können ihrerseits je nach vorherrschenden Temperaturen und weiteren Umweltbedingungen mit der Eiablage beginnen (DEPLAZES und ECKERT, 2013). Niedrige Temperaturen beeinflussen die Aktivität der Schnecken negativ. Vor allem bei Temperaturen unter 6 °C sinkt die Aktivität der Schnecken drastisch und sie sind vor allem unterhalb der Erdoberfläche zu finden (HEPPLESTON, 1972). Allerdings ist ihr Überleben durch Kälteperioden im Winter nicht ernsthaft gefährdet, da sie sich in Schlamm eingraben oder in eine Art Kältestarre verfallen können (MEHL, 1932a).

Außerdem ist die Schneckenentwicklung nicht nur von der Temperatur abhängig, sondern auch von der Feuchtigkeit der umgebenden Umwelt. So ist in Ländern, in denen durchschnittlich warme Temperaturen herrschen, die Feuchtigkeit der

eventuell wachstumslimitierende Faktor (TORGERSON und CLAXTON, 1999). Trocknet ein Graben aus, in welchem Schnecken leben und sind keine schützenden Pflanzen vorhanden, die Schnecken somit Sonne und Wind ausgesetzt, so sterben sie innerhalb von zwei bis fünf Tagen aus. Ist allerdings ein tiefer, toniger Boden eines pflanzenverwachsenen Grabens vorhanden, so kann die Schnecke mehrere Monate Trockenzeit überdauern (MEHL, 1932a).

Die Lebensdauer der Zwergschlammschnecken beträgt etwa 10-14 Monate (MEHL, 1932a; HEPPLESTON, 1972; TORGERSON und CLAXTON, 1999). Während dieses Lebens sind sie entweder durch einen 1-Jahres- oder einen 2-Jahres-Zyklus für die Infektion des Endwirtes mit *Fasciola hepatica* verantwortlich. Beim 1-Jahres-Zyklus erfolgt die Schneckeninfektion vor allem im frühen Sommer. Durch die warmen Temperaturen entwickeln sich die Parasiten innerhalb von ca. fünf Wochen. Die Metazerkarien können dann im Spätsommer und Herbst die Endwirte infizieren. Dagegen werden beim 2-Jahres-Zyklus die Endwirte bereits im Frühsommer infiziert, da die Schneckeninfektion im Herbst stattfindet, der parasitäre Zyklus bei niedrigen Temperaturen im Winter gehemmt ist und erst bei ansteigenden Temperaturen im Frühjahr abgeschlossen werden kann (DEPLAZES und ECKERT, 2013).

3.3. Wanderverhalten und Verbreitung

Zum einen ist wichtig zu wissen, dass die Schnecken über verschiedene Wege wie Überschwemmungen, starke Regenfälle, Menschen und andere Tiere (Vögel, Säugetiere) passiv über weite Strecken verbreitet werden können.

Zum anderen ist die Verbreitung der Zwergschlammschnecke durch die Möglichkeit des aktiven Wanderns ein Diskussionsthema. Mehl geht beispielsweise davon aus, dass die Schnecke das Wasser bei Sauerstoffmangel zwar durchaus verlassen kann, sich aber nicht weiter als bis zu 1 m von diesem entfernt und so keine größeren Strecken zurücklegt (MEHL, 1932a).

Thomas dagegen war der Meinung, dass *Galba truncatula* bei ungünstigen Lebensbedingungen ihr Habitat tatsächlich aktiv verlässt und sich auf die Suche nach einem neuen begibt (THOMAS, 1883).

HEPPLESTON (1972) versuchte das Wanderverhalten anhand von Schnecken zu ergründen, die er mit einem Nagellack markiert hatte. Dies gelang aber nicht gut, da nur wenige Exemplare dauerhaft markiert blieben. Bis zu 20 % verloren ihren

Lack nach nur einem Monat. Aus seinen vorhandenen Beobachtungen schloss er, dass die Schnecken eine sesshafte Spezies sind und nur unter ungünstigen Bedingungen in Bewegung geraten und eine kleine Wegstrecke zurückzulegen in der Lage sind. Allerdings geht auch er nicht von weiten aktiven Wanderungen aus.

3.4. Lebensraum

Galba truncatula bevorzugt kleine und kleinste Gewässer, Sümpfe, Pfützen, Gräben, Tümpel und langsam fließende Bäche. Diese sollten seicht sein, das heißt einen Wasserstand von wenigen Zentimetern bis ca. 40 cm besitzen (MEHL, 1932a; FRÖMMING, 1956; RONDELAUD et al., 2011). Dort findet man sie vor allem am Uferbereich, an Gräsern sitzend, die ins Wasser ragen, aber auch oberhalb des Wasserspiegels (FRÖMMING, 1956). Des Weiteren findet man sie in vegetationslosen Trittsiegeln, die in einem Gebiet liegen, das durch Quellwasser versorgt wird (PETZOLD, 1989a) und an Sickerwasser von Hügeln (PULLAN et al., 1972).

Voraussetzung für das Vorkommen der Zwergschlammschnecke ist das Vorhandensein von geeigneter Nahrung. So ernähren sie sich von verrottenden Pflanzenteilen und Algen (MEHL, 1932a; FRÖMMING, 1956; RONDELAUD et al., 2011). Dies bedingt, dass in Waldschattengebieten keine Exemplare zu erwarten sind, da dort das Sonnenlicht fehlt, das für die Entwicklung der Algen notwendig ist (PULLAN et al., 1972). Das gleiche gilt natürlich für Gräben oder Bäche, die durch eine hohe und dichte Vegetation verwachsen sind (PETZOLD, 1989a).

Als Bodenarten werden vor allem Lehm- und Tonböden bevorzugt. Die Abhängigkeit von einem bestimmten Wasser-pH-Wert ist sehr gering, allerdings sollte er über fünf liegen (MEHL, 1932a).

MEHL (1932a) unterscheidet drei verschiedene Habitatsgruppen. So gelten als Primärhabitate Lebensräume, in denen *Galba truncatula* weder durch Austrocknen noch durch Erfrieren gefährdet ist. Dies sind langsam fließende, sauerstoffreiche, seichte Bachläufe mit tonigen begrasten Böden, in denen eine große Anzahl an Schnecken vorkommt.

Sekundärhabitate sind Fundorte, in denen die Schnecken während großer Trockenheit kaum oder gar nicht mehr zu finden sind, da dort dann kein Wasser mehr vorkommt. Dies sind beispielsweise Straßengräben und Ent- sowie Bewässerungsgräben.

Als Tertiärhabitate sieht er weite, meist vermooste Wiesenflächen an, die bei hohen Niederschlägen versumpfen und den Schnecken, die dorthin geschwemmt werden, über eine lange Zeit Nahrung und Lebensraum bieten.

Pflanzen als Indikatoren für *Galba truncatula*-Habitats

Bereits MEHL (1932a) fand einige Pflanzenarten, die besonders häufig in Zwergschlammschneckenhabitats gefunden wurden und so als Indikator für das Vorhandensein eines Habitats dienen könnten. Er nannte hierbei kleine Schachtelhalme (*Equisetum*), Binsen (*Juncus*) und Algen, sowie Hahnenfußarten (*Ranunculus acer* und *Ranunculus repens*). Diese Hahnenfußarten werden umgangssprachlich seit langem auch als „Egelkraut“ bezeichnet.

Diese Beobachtungen wurden später von PULLAN et al. (1972) und (PETZOLD, 1989a) bestärkt.

Eine erst kürzlich veröffentlichte Studie untersuchte diese Beobachtungen zum Wert bestimmter Pflanzen als Indikatorpflanzen für das Vorhandensein von Zwergschlammschnecken genauer. Hierbei wurden auf Basis früherer Angaben als mögliche Pflanzen zwei Binsenarten (*Juncus acutiflorus* und *Juncus effusus*), Sumpfhornklee (*Lotus uliginosus*), Weißes Straußgras (*Agrostis stolonifera*), Flutender Schwaden (*Glyceria fluitans*) und Gewöhnliches Knäuelgras (*Dactylis glomerata*) angesehen und bei ihrem Vorhandensein das Gebiet auf die Anwesenheit von Schnecken untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass vor allem *Juncus acutiflorus* auf sauren Böden als guter Indikator für das Vorhandensein von *Galba truncatula*-Habitats angesehen werden und auch in vielen Regionen verwendet werden kann (RONDELAUD et al., 2011).

3.5. Andere Zwischenwirte für *Fasciola hepatica*

Schon seit langem beschäftigen sich verschiedene Autoren mit der Frage, ob es noch weitere Zwischenwirte außer *Galba truncatula* gibt, die für die Verbreitung der Fasciolose mitverantwortlich sind. So wurden immer wieder Versuche der künstlichen Ansteckung anderer Schneckenarten gemacht oder diese auf eine natürliche Infektion hin untersucht. THOMAS (1883) beschäftigte sich zu diesem Zweck mit *Lymnaeus pereger*, *Lymnaeus palustris*, *Lymnaeus auricularis*, *Lymnaeus stagnalis*, *Physa fontinalis*, *Planorbis marginatus*, *Planorbis carinatus*, *Planorbis vortex*, *Planorbis spirorbis*, *Bythinia tentaculata*, *Paludina vivipara*, *Succinea amphibia*, *Limax agrestis*, *Limax cinereus*, *Arion ater* und *Arion*

hortensis. Dabei fand er keine Anzeichen einer Infektion außer bei manchen *Lymnaeus pereger* und zwar hierbei bei den jüngeren Exemplaren. Allerdings kam es zu keiner Weiterentwicklung der Parasiten. Daher kam er zu dem Schluss, dass in England als Zwischenwirt nur *Lymnaea truncatula* auftritt, für andere Länder aber das Vorhandensein weiterer Zwischenwirtsschnecken nicht ausgeschlossen werden darf.

FRÖMMING (1956) kam zur gleichen Feststellung, dass die Zwergschlammschnecke in unseren Gebieten der einzige Zwischenwirt für *Fasciola hepatica* ist, dies aber nicht für andere Länder gelten muss.

Auch MEHL (1932a) fand keinen Anhaltspunkt für andere Zwischenwirte und schließt eine Ansteckung in Deutschland durch ebensolche beinahe aus.

Im Ausland scheint dies tatsächlich anders zu sein. Beispielsweise wurden in Neuseeland natürlich infizierte *Lymnaea tomentosa* – und *Lymnaea columella*-Exemplare und dafür keine Infektionen in *Lymnaea truncatula* gefunden, die allerdings auch in Neuseeland künstlich infiziert werden konnte. So dienen dort wohl alle drei Spezies der Weiterverbreitung von *Fasciola hepatica* (PULLAN et al., 1972).

In einer neuen Studie aus Belgien wurde ebendiese Frage nach anderen Zwischenwirten genauer untersucht, indem 7103 Schnecken der Familie *Lymnaeidae* im Feld gesammelt und daraufhin mittels Multiplex PCR auf eine Infektion hin untersucht wurden. Dabei wurden mehr Exemplare der Spezies *Radix peregra* als *Galba truncatula* gesammelt, da diese auch in für *Galba truncatula* ungeeigneten Habitaten leben können. Mithilfe der PCR wurden in beiden Spezies Infektionen festgestellt, mit einer Prävalenz von 1,3 % in *Galba truncatula* und 0,2 % in *Radix peregra*. *Radix peregra* ist sehr invasiv und kann zu einer Ausdehnung der Fasciolose führen. Daher sollten Fasciolose-Bekämpfungsprogramme in Zukunft ein breiteres Spektrum an möglichen Zwischenwirten abdecken und sich nicht nur allein auf *Galba truncatula* konzentrieren (CARON et al., 2014), vor allem, da eine Weiterentwicklung des Parasiten mit anschließender Ausscheidung nachgewiesenermaßen auch in *Radix peregra* stattfindet. Die Ausscheidungsrate scheint zwar geringer zu sein, allerdings sind die frei werdenden Metazerkarien ebenso infektiös wie jene, die *Galba truncatula* entlässt (CARON et al., 2007).

4. Prävalenz

Vor allem in der Schweiz wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Studien zur Prävalenz der Fasciolose durchgeführt. Dabei wurde diese anhand unterschiedlicher Methoden geschätzt.

In einer Studie aus dem Jahre 1991 wurden 2033 Lebern aus den meisten Teilen der Schweiz anhand einer makroskopischen Leberinspektion auf das Vorhandensein von Leberegeln überprüft, sowie die Galle mikroskopisch auf Leberegeleier untersucht. Dabei wurden für den großen Leberegel *Fasciola hepatica* Prävalenzzahlen von 16,4 % bei weiblichen Rindern und 2,2 % bei männlichen Rindern festgestellt. Der höhere Prozentsatz infizierter weiblicher Tiere erklärt sich durch die unterschiedlichen Haltungsformen, da diese im Gegensatz zu männlichen Rindern oft die Möglichkeit zum Weidegang geboten bekommen (DUCOMMUN und PFISTER, 1991).

Eine aktuellere Studie beschäftigt sich mit der Frage, ob es einen Prävalenzrückgang in der Schweiz innerhalb der letzten 30 Jahre gegeben hat. Dazu wurden insgesamt 3267 Lebern an einem Ostschweizer Schlachthof mittels Fleischuntersuchungsverordnung vom 3. März 1995 auf das Vorhandensein von Leberegeln untersucht. Die Ergebnisse wurden mit Zahlen einer Untersuchung von 1975 (ECKERT et al., 1975) verglichen, sowie mit den Zahlen der oben erwähnten Studie. Es wurden Prävalenzzahlen für *Fasciola hepatica* von 8,4 % festgestellt, was einen Rückgang der Prävalenz bedeuten würde. Da allerdings die vorangegangenen Studien eine andere Nachweismethode benutzten (Untersuchung der Galle), die eine höhere Nachweisrate hat, kann nicht davon ausgegangen werden, dass es sich um einen wahren Prävalenzrückgang handelt (SCHWEIZER et al., 2003).

Außerdem wurde, ebenfalls in der Schweiz, eine Studie durchgeführt, die zum Ziel hatte, die wahre Prävalenz von *Fasciola hepatica* sowie die Leistung der diagnostisch möglichen Tests herauszufinden. Zu diesem Zweck wurden 1331 Rinder an zwei Schlachthöfen mittels vierer diagnostischer Strategien untersucht. Diese waren die Fleischinspektion, die Koproskopie, der kommerzielle ELISA, sowie die Untersuchung der Galle. Als Ergebnis kam eine durchschnittliche wahre Prävalenz von 18,0 % heraus. Außerdem bestätigte sich die Annahme, dass die Fleischschau keine hohe Nachweisrate hat, da die Sensitivität der

Leberuntersuchung bei einer Spezifität von 100 % bei 63,2 % lag. Im Gegensatz dazu erreichte beispielsweise die Koproskopie bei einer angenommenen Spezifität von 100 % und einer dreimaligen Untersuchung von je 10 g Kot eine Sensitivität von 91,9 % (RAPSCH et al., 2006). Diese Studie zeigt daher auch, dass es keinen Prävalenzrückgang der Fasciolose in der Schweiz gibt und es nach wie vor wichtig ist Aufklärung und Prävention zu betreiben.

Dies untermauern auch Studien, die in anderen europäischen Nachbarländern durchgeführt wurden. So lässt eine belgische Studie anhand der Untersuchung von Tankmilchproben mittels ELISA auf eine Prävalenz von 37,3 % in Flandern (Belgien) schließen (BENNEMA et al., 2009). Und auch in Tirol wurden Tankmilchproben untersucht und Prävalenzzahlen von 67,1 % - 67,6 % ermittelt (MATT et al., 2007). Eine weitere Studie aus Österreich beschäftigt sich mit dem Nutzen von Tankmilchuntersuchungen als Grundlage für Behandlungs-/Bekämpfungsstrategien. Dafür wurden 31 Kärntner Milchviehherden mittels Sammeltankmilch-, Einzelmilch-, Serum- und Kotuntersuchung auf Fasciolose untersucht. Dabei wurden per Tankmilch-ELISA Prävalenzzahlen von 60 % auf Herdenebene festgestellt (DUSCHER et al., 2011).

Für Bayern, für welches als weiterführendes Ziel dieser Arbeit eine Karte der Fasciolose-Risikogebiete erstellt werden soll, gibt es ebenfalls Prävalenzzahlen. Erste Zahlen wurden im Rahmen einer Doktorarbeit aus dem Jahre 2005 ermittelt. Auch hier wurden Tankmilchproben mittels eines ELISAs ausgewertet und zwar insgesamt 5278 Proben. Für Gesamtbayern betrug der festgestellte Prävalenzwert 32,4 %. Dabei wurden innerhalb Bayerns große regionale Unterschiede ausfindig gemacht. So betrug die Prävalenz in Unterfranken nur 4,4 % wohingegen in Oberbayern mit 47,2 % deutlich höhere Werte festgestellt wurden. Auch innerhalb der einzelnen Landkreise sind deutliche lokale Häufungen bemerkt worden, wobei beispielsweise das Ostallgäu (88,8 %), Bad Reichenhall (91,3 %) oder Bad Tölz (97,5 %) stark betroffen sind. Insgesamt kann man anhand der Prävalenzzahlen von einem Nord-Süd-Gefälle innerhalb Bayerns sprechen (KOCH, 2005).

Für Gesamt-Deutschland gibt es Prävalenzzahlen aus einer erst kürzlich angefertigten Studie von KUEPICK et al. (2013). Es wurden insgesamt 20749 Tankmilchproben aus überall in Deutschland verteilten Regionen gesammelt und mit einem ELISA untersucht. Das Ergebnis war eine durchschnittliche Prävalenz von 23,6 % für Gesamt-Deutschland, wobei es eine große Spanne von 2,6 % –

38,4 % zwischen den einzelnen Bundesländern gab. Für Bayern wurde eine Prävalenz von 17,7 % festgestellt, ein Wert, der deutlich unter dem von KOCH (2005) ermitteltem Wert liegt. Dies kann allerdings an der geringeren Anzahl der hier gesammelten Proben pro Bundesland liegen, weshalb die Unterschiede zwischen den einzelnen Bundesländern unter Vorbehalt betrachtet werden müssen und die angegebenen Prävalenzzahlen besser als Anhaltspunkt bezüglich der epidemiologischen Situation gesehen werden sollten (KUERPICK et al., 2013).

Neueste Prävalenzzahlen zu Bayern stammen aus dem Dissertationsprojekt von SCHÄFFER (2018). Hier wurde zudem erstmals untersucht, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen ökologisch und konventionell geführten Betrieben betreffend der Prävalenz gibt. Dazu wurden von beiden Betriebsarten insgesamt je 366 Betriebe per Zufallsgenerator ausgewählt, wobei darauf geachtet wurde, dass diese Stichproben verhältnismäßig anhand der Betriebsanzahl je Landkreis verteilt waren. Pro Landkreis wurde dieselbe Anzahl an ökologisch produzierenden wie konventionell wirtschaftenden Betrieben zur Untersuchung herangezogen. Von diesen Betrieben wurden vom Milchprüfing Bayern e.V. im Zeitraum vom 01.10.-20.10.2015 Tankmilchproben gezogen und anschließend mittels des ELISA Fasciolosis Verifications Tests der Firma IDEXX ausgewertet. Dabei wurde eine Prävalenz von 46,6 % bei ökologischen Betrieben und 35,8 % bei konventionell geführten Betrieben festgestellt. Dieser Unterschied ist als statistisch signifikant anzusehen. Auffallend war, dass die serologisch positiven Betriebe vor allem auf den Süden Bayerns verteilt sind.

Insgesamt betrachtet zeigen die erwähnten Studien, dass die Fasciolose nach wie vor eine weit verbreitete Krankheit ist und Bekämpfungs-, Prophylaxe – sowie Aufklärungsmaßnahmen nötig und sinnvoll sind. Ein Review aus dem Jahre 2011 bestätigt diese Aussage. Es beschäftigt sich mit dem bisherigen Wissensstand zu Inzidenz und Epidemiologie sowie mit den Hürden der Bekämpfung der Fasciolose. Es wird von einem weiteren Ausbreiten der Krankheit, auch aufgrund des Klimawandels und den dadurch entstehenden komfortableren Lebensbedingungen für *Galba truncatula* und die frei lebenden Stadien von *Fasciola hepatica*, ausgegangen (FAIRWEATHER, 2011).

5. Bekämpfung

Die Bekämpfung der Fasciolose schließt therapeutische und prophylaktische Maßnahmen ein und greift an unterschiedlichen Stellen an.

Zu den therapeutischen Maßnahmen zählt der Einsatz von verschiedenen Anthelminthika. In Deutschland gibt es mehrere zugelassene Wirkstoffe, die allerdings zum Teil nur gegen einzelne Entwicklungsstadien des Leberegels wirksam sind (bspw. Albendazol), bei laktierenden Tieren nicht angewendet werden dürfen (bspw. Triclabendazol) oder aber nur mit Ausnahmegenehmigung verschrieben werden dürfen (bspw. Oxyclozanid). Dieser Anthelminthikaeinsatz ist einfach durchzuführen, ist aber, wie oben kurz erwähnt, in der Anwendung eingeschränkt und berücksichtigt die individuelle Situation des Betriebes nicht. Es kann also auch sein, dass hierbei nichtinfizierte Tiere behandelt werden, was sicherlich nicht wirtschaftlich ist (KNUBBEN-SCHWEIZER et al., 2011).

Daher schließt die Bekämpfung der Fasciolose auch andere Maßnahmen wie das Auszäunen und Drainieren von eventuellen Schneckenhabitaten ein. Hierbei soll der Kontakt zwischen Endwirt und Zwischenwirt vermieden werden, was eine Unterbrechung des Parasitenzyklus bedeuten würde und somit die Tiere prophylaktisch vor einer Infektion oder Re-Infektion schützen würde. Allerdings ist es schwierig einen Abstand des Zaunes zu definieren, da bei Hochwasser oder starken Niederschlägen die Schnecken auch weit in die Weiden hinein geschwemmt werden oder diese auch aktiv auswandern können (KNUBBEN-SCHWEIZER et al., 2011).

Als weitere Maßnahme wäre es sinnvoll den Tieren das Gras von infizierten Weiden nur als Silage oder Belüftungsheu zu füttern, da die Metazerkarien in Gras oder bodengetrocknetem Heu bis zu sechs Monate infektiös bleiben, wohingegen sie in Grassilage oder Belüftungsheu innerhalb weniger Wochen sterben (GRÜNDER, 2006; KNUBBEN-SCHWEIZER et al., 2010). Allerdings ist dies in manchen Betrieben aufgrund der Lage der Weiden oder der technischen Hilfsmittel nicht durchführbar.

Als wirkungsvollste Maßnahme ist die betrieblich angepasste Bekämpfung mit Berücksichtigung der Zwischenwirtshabitate zu nennen. Hierbei müsste zunächst der Betrieb mittels Kotuntersuchung oder serologischer Untersuchung von je fünf Tieren aus der Gruppe der Jungtiere sowie der Milchkühe auf das Vorhandensein

der Fasciolose als Bestandsproblem überprüft werden. Außerdem sollten die Weiden auf Zwischenwirtshabitate untersucht werden. Danach kann eine an die jeweilige Situation angepasste Bekämpfung erfolgen (KNUBBEN-SCHWEIZER et al., 2011). Die betriebsindividuelle Bekämpfungsstrategie basiert auf der betroffenen Altersgruppe (Jungtiere vs. Milchkühe) und den betroffenen Weiden bzw. Grünflächen. Das Einhalten eines solch erarbeiteten Bekämpfungsplanes ist in manchen Betrieben nicht einfach, kann aber die Prävalenz deutlich reduzieren (KNUBBEN-SCHWEIZER et al., 2010).

Die wirksame und nachhaltige Bekämpfung der bovinen Fasciolose ist aus verschiedenen Gründen eine Herausforderung für Landwirte und Tierärzte.

Zum einen fehlt vielen Landwirten das Problembewusstsein gegenüber dieser Krankheit und somit auch die Kenntnis über den Erreger selbst oder über die Bekämpfungsmaßnahmen, die gegen diesen ergriffen werden können (SCHWEIZER et al., 2005a).

Zum anderen steht nur eine limitierte Anzahl an Wirkstoffen zur Behandlung der bovinen Fasciolose zur Verfügung.

Hoffnung gibt die Aussicht auf eine mögliche Impfung, da in den letzten Jahren große Fortschritte betreffend der Isolation und Prüfung einer Reihe von Molekülen, die als Vakzine gegen *Fasciola hepatica* infrage kommen, erzielt wurden. Allerdings sind die Daten noch zu inkonsistent und die Forschung noch nicht zu Feldversuchen vorgedrungen, weshalb in nächster Zeit noch nicht mit einer Kommerzialisierung gerechnet werden kann (MOLINA-HERNÁNDEZ et al., 2015).

6. Wirtschaftliche Bedeutung der Fasciolose

Wie bereits erwähnt, kann es bei massiven Befallsraten zu Todesfällen unter den infizierten Tieren kommen. Jedoch entstehen die größten wirtschaftlichen Verluste durch verringerte Produktivität der vor allem subklinisch infizierten Tiere (KAPLAN, 2001). Dabei setzen sich diese Verluste durch Leberkonfiskate, eine schlechtere Gewichtszunahme, verringerte Milchleistung und geringere Fruchtbarkeit zusammen (SCHWEIZER et al., 2005b). Eine Schweizer Studie, die als Ziel hatte, die durch Fasciolose bedingten finanziellen Verluste in der Schweiz

abzuschätzen, geht von einem durchschnittlichen absoluten Verlust von 52 Millionen Euro pro Jahr aus. Zusätzlich zu oben genannten Faktoren wurden hierbei noch die anfallenden Behandlungskosten miteinberechnet. Allerdings gibt es bisher noch keine Studien über die tatsächlich anfallenden tierärztlichen Kosten. Hierzu zählen nicht nur die Kosten der eingesetzten Anthelminthika, sondern auch die Behandlung von eventuellen Begleiterkrankungen wie Peritonitis oder Ketose.

Den größten Anteil am totalen Verlust machte die verringerte Milchleistung mit 65 % aus. Den zweitgrößten Anteil hatte die reduzierte Fruchtbarkeit im Sinne eines verlängerten Kalbe-Konzeptionsintervalls mit 27 % des totalen Verlustes (SCHWEIZER et al., 2005b). Dabei gibt es noch relativ wenige Studien darüber, wodurch die Reduktion der Fruchtbarkeit zustande kommt. Es ist noch unklar, ob diese durch das schlechtere Allgemeinbefinden und das geringere Wachstum der Tiere verursacht wird oder ob der Parasit an sich den Hormonaushalt der Wirtstiere direkt beeinflusst (KAPLAN, 2001).

7. Risiko- und Vorhersagemodelle für Fasciolose

Da der Zwischenwirt *Galba truncatula* und die freilebenden Stadien von *Fasciola hepatica* stark von verschiedenen Klima- und Umweltfaktoren abhängig sind, besteht die Möglichkeit das Vorkommen der Fasciolose anhand von klimaabhängigen Risikomodellen vorherzusagen.

Ein erstes solches Modell entstand in den 50er Jahren für Anglesey, einer Insel vor der Küste von Wales. Hierbei waren die beeinflussenden Faktoren Temperatur und Feuchtigkeit (OLLERENSHAW et al., 1959).

Dieses Modell wurde dann in den 60er Jahren auf England und Wales ausgeweitet (OLLERENSHAW, 1966) und später in Louisiana überprüft und weiterentwickelt. So wurde hier ein Modell auf Basis des Thornthwaite water budgets erstellt, das als Messwert für Boden- und Oberflächenwasserverfügbarkeit dient und den großen Vorteil hat, dass die potenzielle Evapotranspiration aus den wenigen Daten, die zur Verfügung stehen, ausreichend genau berechnet werden kann (MALONE et al., 1987).

Ein weiteres Modell aus Nordirland, das 1990 veröffentlicht wurde, nutzte ein computerbasiertes Informationssystem, um exaktere Daten über die Prävalenz

mittels eines Schlachthofdatensatzes mit einem meteorologischen Datensatz zu verbinden. Dabei stellten die Autoren fest, dass die Prävalenz des vorangegangenen Jahres einen großen Einfluss auf die aktuelle Prävalenz hatte (MCILROY et al., 1990).

In Louisiana wurde untersucht, ob verschiedene Bodenarten hinsichtlich des Vorkommens und der Verbreitung von *Fossaria bulimoides*, dem dortigen Zwischenwirt von *Fasciola hepatica*, einen Hinweis liefern können. Hierbei wurde ein geographisches Informationssystem konstruiert, indem Bodentypkarten, Satellitenbilder, Neigung und hydrologische Eigenschaften genutzt wurden. Die Prävalenz der Fasciolose wurde anhand von Kotproben untersucht und es wurde festgestellt, dass die Anzahl an Eiern im Kot mit der Proportion an hygri-schen Lehmböden ansteigt (MALONE et al., 1992).

Eine Übersicht über die bisher entwickelten Vorhersagemodelle und die Vorteile von Geographischen Informationssystemen wurde 1992 veröffentlicht (MALONE und ZUKOWSKI, 1992).

Die Autoren eines weiteren für den Süden der USA entwickelten Vorhersagemodells, das wiederum Bodenkarten benutzte, kamen zu dem Schluss, dass ein umfassendes und repräsentatives Modell mehrere Elemente enthalten sollte. Und zwar sollte es auf ein Klimamodell für die Entwicklung des Lebenszyklus, eine Abschätzung des individuellen Farmrisikos für das Auftreten von Zwischenwirts Habitaten durch beispielsweise Bodenkarten und das Einbringen von Managementfaktoren wie Anthelminthikaeinsatz, Herdenstruktur, Weidenmanagement etc. basieren (ZUKOWSKI et al., 1993).

1998 wurde ein Vorhersagemodell für Äthiopien entwickelt, das das Risiko für das Vorkommen von *Fasciola hepatica* und *Fasciola gigantica* abschätzt. Dieses Modell basiert auf Klima- und Umweltdaten und ergibt monatliche Vorhersagen für die vier Klimaregionen des Landes. Diese Vorhersagen wurden im Anschluss mit vorhandenen Prävalenzdaten aus der Literatur verglichen, wobei sich eine gute Übereinstimmung zeigte. Daraufhin lieferten die Autoren Empfehlungen hinsichtlich der Behandlungsstrategien in den vier Klimaregionen (YILMA und MALONE, 1998).

Im selben Jahr wurde ein Risikomodell für Ostafrika erstellt, ebenfalls für *Fasciola hepatica* und *Fasciola gigantica*. Dabei wurden unter Verwendung des 1987 für

Louisiana entwickelten Modells regionale Vorhersagekarten kreiert. Als Variablen wurden monatliche Niederschlagsdaten, Temperatur, potenzielle Evapotranspiration, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), Vegetationsperiode, Höhe und Bewässerungsstatus in das Risikomodell einbezogen. Die Ergebnisse wurden dann mit vorhandenen Prävalenzdaten aus der Literatur verglichen (MALONE et al., 1998).

Etwas später, im Jahre 2004, veröffentlichten TUM et al. (2004) ein Geographisches Informationssystemmodell für *Fasciola gigantica* in Kambodscha. Hierbei wurden Überschwemmung, Flussnähe, Landnutzung, Neigung, Höhenlage und die Büffel- und Kuhdichte als Faktoren verwendet. Auffallend ist im Vergleich zu den bisherigen Modellen, dass weder Temperatur noch Niederschlag verwendet wurden, was allerdings daran liegt, dass diese in Kambodscha keine wichtigen Determinanten sind. Niederschlag beeinflussen, im Gegensatz zur Schneeschmelze, kaum die jährliche Anflutung der Flüsse und die Temperaturen verändern sich das Jahr hindurch nur wenig und sind so ganzjährig günstig für die Schneckenpopulation. In einer anschließenden Validierung des Modells anhand von Kotproben wurde insgesamt eine gute Übereinstimmung festgestellt und es scheint somit für eine Identifikation der Hochrisikogebiete mit anschließender Einleitung gezielter Bekämpfungsprogramme geeignet zu sein (TUM et al., 2007).

Vier Modellklassen wurden für Victoria in Australien anhand eines früheren Datensatzes aus einer Schlachthofuntersuchung evaluiert. Dabei sollten Gebiete hoher Prävalenz identifiziert und diese anhand von vorherrschenden Umweltvariablen erklärt werden. Als Variablen wurden Niederschlag, Bewässerung, temperatur-angepasster Niederschlag und NDVI genutzt. Festgestellt wurde, dass die Bewässerung den größten Einfluss hatte (DURR et al., 2005).

In Südbrasilien wurde die Prävalenz für *Fasciola hepatica* ebenfalls anhand von Leberuntersuchungen an Schlachthöfen bestimmt. Daraufhin wurden die Klima- und Höhenbedingungen der betroffenen Gebiete mit der Prävalenz anhand eines Geographischen Informations Systems in Verbindung gebracht (DUTRA et al., 2010).

Auch für Belgien wurden Vorhersagemodelle entwickelt. Hier wurde die Beziehung zwischen Management-, Klima- und Umweltfaktoren untersucht und wie diese die räumliche Verteilung von *Fasciola hepatica*-Infektionen

beeinflussen. Zu diesem Zweck wurden drei unterschiedliche Modelle entwickelt und im Anschluss mit den Prävalenzdaten, die mittels ELISA aus Tankmilchproben bestimmt wurden, verglichen. Das beste Modell enthielt sowohl Klima- und Umwelt- als auch Managementvariablen und bestand aus folgenden Determinanten: jährlicher Niederschlag, Mähen der Weiden, Anteil von gemähtem Gras am Futter und Länge der Weidesaison. Dieses kombinierte Modell beschrieb die räumliche Verteilung von *Fasciola hepatica*-Infektionen besser als Modelle, die nur Klima- und Umweltvariablen oder auch nur Managementfaktoren enthielten. Dies zeigt, dass es wichtig ist Managementfaktoren in die Risikoberechnung mit einzubeziehen (BENNEMA et al., 2011).

Für England und Wales wurden ebenfalls im Jahre 2010 Vorhersagemodelle veröffentlicht. Hierzu wurden insgesamt sechs Modelle erstellt, die mit Prävalenzdaten aus einer vorhergegangenen Studie verglichen wurden. Diese Prävalenzdaten stammten auch hier von Tankmilchproben, die mittels ELISA getestet wurden. Die Datensätze enthielten Klimaparameter, Umweltparameter, Bodendaten, Viehbestand- und Weidevariablen (MCCANN et al., 2010).

Eine erst kürzlich veröffentlichte Studie befasst sich mit Prävalenz, Risikofaktoren und räumlicher Analyse von Leberegelinfektionen in Dänemark. Dabei wurde zunächst anhand einer Schlachthofuntersuchung die Prävalenz bestimmt und hierbei ein Anstieg im Vergleich zu bisher bekannten Werten festgestellt. Dann wurden räumliche Analysen angefertigt, um ein eventuell gebündeltes Krankheitsauftreten zu identifizieren und dadurch auch Umweltfaktoren, die mit dem Auftreten der Krankheit in Zusammenhang stehen, ausfindig zu machen. Es entstand so ein Datensatz, der Informationen über Umweltvariablen, Herdengröße, Infektionsstatus der Herde, Handelsinformationen, Betriebstyp, Produktionsart und Lokalisation der Farm enthielt. Die einzelnen Faktoren wurden auf ihre Verbindung mit Auftreten der Infektion getestet. Dabei wurde festgestellt, dass das Auftreten von Flüssen, Feuchtgebieten und Weideland mit einem positiven *Fasciola hepatica*-Status in Verbindung steht.

Außerdem konnte die beobachtete räumliche Verbreitung mit dem finalen Vorhersagemodell reproduziert werden (OLSEN et al., 2015b).

7.1. Interaktive Karte der Schweiz von RAPSCH et al. (2008)

Im Jahre 2008 wurde eine interaktive Karte veröffentlicht, die das relative Übertragungsrisiko für Fasciolose darstellt und im Internet für die Öffentlichkeit zugänglich war. Dabei wurde das Risiko anhand von Umweltbedingungen, die für das Überleben und die Fortpflanzung der Schnecke und der freilebenden Larvenstadien von *Fasciola hepatica* günstig sind, ermittelt. Als Faktoren wurden hier Temperatur, Niederschlag, Bodentypen inklusive Grundwasser und Forstbestand verwendet. Hierbei wurde zum ersten Mal detailliert auf die unterschiedlichen Anforderungen an die Temperatur von frei-lebenden Parasitenstadien und Zwischenwirt eingegangen.

Die Karte zeigt anhand von sechs Risikoklassen wie wahrscheinlich das Vorkommen von *Galba truncatula* und den Larvenstadien von *Fasciola hepatica* ist und somit kann dann auf ein Ansteckungsrisiko geschlossen werden. Außerdem zeigt die Karte Grenzlinien der Kantone, Wasserläufe, Hauptstädte der Kantone, das Relief und die Bewaldung des Gebietes. Das Risiko kann monatlich eingesehen werden (RAPSCH et al., 2008).

Im Zuge eines zweiten Projektes wurde diese Karte im Feld validiert. Dazu wurden 361 Rasterfelder entsprechend der interaktiven Karte untersucht, auf das Vorhandensein von Feuchtstellen überprüft und im positiven Falle auf das Vorkommen von *Galba truncatula* eingehend abgesucht. Außerdem wurden weitere Funde aus einer Prävalenzstudie aus dem Jahre 2007 (SCHWEIZER et al., 2007) und Funde aus der Datenbank des Centre Suisse de Cartographie de la Faune bewertet. Leider konnten nur eine mäßige Sensitivität und Spezifität festgestellt werden. Dies könnte zum einen damit zusammenhängen, dass nur die Hauptflüsse der Schweiz in der Risikokarte enthalten sind und kleinere Bachläufe, die oftmals ein Habitat darstellen, fehlen. Zum anderen wurde der Faktor Neigung nicht in die Risikoberechnung mit einbezogen, was aber durchaus empfehlenswert wäre, da viele Habitate an Hangwasseraustrittsstellen vorkommen. Außerdem wäre es wünschenswert ein Transmissionsmodell in die Karte einzubauen, damit die Bedingungen der vorangegangenen Monate in die Risikoberechnung des einzelnen Monats mit einbezogen werden können (BAGGENSTOS et al., 2016).

7.2. Entwicklung logistischer Regressionsmodelle zur Vorhersage des Vorkommens von Zwergschlammschnecken in der Schweiz

Aufgrund der festgestellten mäßigen Sensitivität und Spezifität der von RAPSCH et al. (2008) entwickelten Karte und der daraus entstandenen Forderung nach dem Einbau eines Transmissionsmodells (BAGGENSTOS et al., 2016), beschäftigte sich Frau Dr. Rößler (RÖßLER, 2016) in ihrem Dissertationsprojekt mit dem Erstellen logistischer Regressionsmodelle zur Vorhersage des Vorkommens von *Galba truncatula* in der Schweiz. Dabei wurde der Einfluss von insgesamt 70 Kovariablen auf die Wahrscheinlichkeit Zwergschlammschnecken anzutreffen, untersucht. Dies erfolgte unter Verwendung zweier Generalisierter Logistischer Regressionsmodelle, einem *glmmLasso*-Modell und einem *grplasso*-Modell. Das *grplasso*-Modell wählte 19 Kovariablen mit Einfluss auf das Vorkommen der Zwergschlammschnecke aus, das *glmmLasso*-Modell erkannte 13 Kovariablen als relevant. In neun Kovariablen, die somit den stärksten Effekt auf das Schnecken-vorkommen ausüben, stimmten beide Modelle überein.

III. MATERIAL UND METHODEN

1. Projektbeschreibung

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit der Anwendung eines in einer vorangegangenen Studie entwickelten mathematischen Modells (RÖBLER, 2016) zur Vorhersage des Vorkommens von *Galba truncatula*.

Anhand des Modells wird eine Risikokarte für ein festgelegtes Untersuchungsgebiet angefertigt und im Anschluss mittels Felduntersuchungen überprüft.

So kann ein erster Eindruck darüber gewonnen werden, ob das Modell als Grundlage für eine *Galba truncatula*-Risikokarte geeignet ist und somit potenziell auch als Fasciolose-Risikokarte von Bayern dienen kann.

2. Mathematische Modellierung

2.1. Logistische Regressionsmodelle zur Vorhersage des Auftretens von *Galba truncatula* in der Schweiz

Als Grundlage dieser Dissertation dient die Arbeit von Frau Dr. Anne Rößler, die zwei logistische Regressionsmodelle zur Vorhersage des Vorkommens von *Galba truncatula* in der Schweiz entwickelte. Dabei untersuchte sie den potenziellen Einfluss von insgesamt 70 Kovariablen auf die Wahrscheinlichkeit, Zwergschlammschnecken an einem bestimmten Ort anzutreffen. Die Vorselektion dieser Kovariablen erfolgte aufgrund der Kenntnis zu bisherigen Modellen sowie anhand persönlicher Erfahrungsberichte der Durchführenden vorausgegangener Studien (RÖBLER, 2016).

Sie verwendete zu diesem Zweck Generalisierte Lineare (Gemischte) Regressionsmodelle (GL(M)Ms), einerseits das *grplasso*-Verfahren und andererseits das *glmmLasso*-Modell. Die Auswahl der Modelle erfolgte aufgrund der Anforderungen, die an ein geeignetes Modell gestellt wurden. So war es nötig hinsichtlich der binären Response der Zielvariablen (Schnecke ja/nein) ein logistisches Regressionsverfahren anzuwenden. Außerdem musste das Modell der

Wahl mit der hohen Anzahl an Kovariablen und einem gewissen Maß an Multikollinearität umgehen können. Daher wählte sie Verfahren aus, die auf dem Prinzip des *Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO)* aufbauen. Sie kam zu dem Schluss, dass sich beide Verfahren als geeignet erweisen das Auftreten von *Galba truncatula* vorherzusagen.

2.2. Auswahl des *glmmLasso*-Modells

In der vorliegenden Arbeit wurde mittels des *glmmLasso*-Modells die Wahrscheinlichkeit berechnet, *Galba truncatula* an einem bestimmten Standort anzutreffen. Das *glmmLasso*-Modell wählte aus den 70 potenziellen Einflussgrößen 13 Kovariablen mit relevantem Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit Zwergschlammschnecken an einem bestimmten Standort anzutreffen, aus. Die Entscheidung, dieses Modell anstelle des *grplasso*-Verfahrens zu verwenden, beruht zum einen auf der Restriktion des *glmmLasso*-Modells auf weniger Kovariablen. So müssen weniger Daten erhoben werden. Dies stellt aufgrund der Schwierigkeit des Datenbezugs durch die unterschiedlichen Gegebenheiten und Quellen der beiden Länder Schweiz und Deutschland einen großen Vorteil dar. Zum anderen scheint das *glmmLasso*-Modell stabiler gegenüber datenstrukturbedingter Einflüsse zu sein (RÖBLER, 2016).

Der Zusammenhang aller Einflussgrößen wurde wie folgt modelliert:

$$L = \ln \frac{\pi_i}{1 - \pi_i} = \beta_0 + x_{i1}\beta_1 + \dots + x_{ip}\beta_p$$

Löst man die Gleichung nach π_i auf, so ergibt sich:

$$\pi_i = \frac{e^{\beta_0 + x_{i1}\beta_1 + \dots + x_{ip}\beta_p}}{1 + e^{\beta_0 + x_{i1}\beta_1 + \dots + x_{ip}\beta_p}}$$

Dabei bezeichnet π_i die Wahrscheinlichkeit an Rasterfeld i eine Schnecke zu finden, p die Anzahl der Kovariablen, x_{i1} die erste Kovariable für das Rasterfeld i , β_0 den Intercept und β_p die Schätzer der Modellparameter. Diese Schätzer sind in

Tabelle 1 aufgelistet. Positive Schätzwerte drücken dabei einen positiven, negative Werte einen negativen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit Zwergschlamm Schnecken vorzufinden, aus. Der Absolutbetrag der Schätzer ist ein Maß für die Stärke des Einflusses der jeweiligen Kovariablen. Sind die Kovariablen und die Schätzer bekannt, kann nun eine Wahrscheinlichkeit und somit Aussage für einen vollkommen unbekannten Rasterpunkt oder auch ein Rasterfeld berechnet werden.

Tabelle 1: In glmLasso ausgewählte Regressionsparameter, geordnet nach absteigender Größe der Schätzer

Icept	1,9789
Gewässer im Umkreis von 100 m	0,9888
Hangwasseraustritt	0,8263
Bäume	0,5142
Riet / Feuchtfächen	0,2866
Eistage-3	0,0518
Temp5max<0-3	0,0231
Wasserspeichervermögen ⁴	<0,0001
Wasserspeichervermögen ⁶	-0,0417
Temp200mean>20-1	-0,0732
Temp200max>30-1	-0,1142
Gründigkeit ⁴	-0,1332
Temp5mean>20-1	-0,2997
Hitzetage-1	-0,3951
Temp5mean<0-2	-0,4727

¹

Bevor die Daten in das Modell eingegeben werden können, ist es nötig eine Standardisierung der Variablen durchzuführen, da die unabhängigen Variablen unterschiedliche Maßeinheiten besitzen und es daher nicht möglich ist, die Größe der Regressionskoeffizienten miteinander zu vergleichen. Es werden standardisierte Regressionskoeffizienten berechnet, die die Auswirkungen unterschiedlicher Maßeinheiten beseitigen (ANDREß, 2001). Eine Form der Standardisierung ist die *z-Transformation*. Hierbei wird der Abstand jedes x-Wertes zum Mittelwert berechnet und durch die geschätzte Standardabweichung der Variablen x dividiert. Die neue Variable z hat so den Mittelwert 0 und die Standardabweichung 1. Es handelt sich hierbei um eine lineare Transformation der Daten, wodurch alle Informationen der Daten erhalten bleiben.

¹ Regressionsparameter bestimmen den Einfluss einer Variablen in einer Regressionsgleichung

Die zugrundeliegende Formel lautet:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\hat{\sigma}_x}$$

Hierbei ist x_i die ursprüngliche Variable und z_i die transformierte Variable (BÜHNER und ZIEGLER, 2009).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Kovariablen mit den von RÖBLER (2016) verwendeten zugehörigen Mittelwerten und Standardabweichungen zentriert beziehungsweise standardisiert. Deren Werte sind den Tabellen 11 und 12 des Anhangs zu entnehmen.

3. Generierung des Datensatzes

Wie bereits erwähnt, wählte das *glmmLasso*-Modell aus den 70 potenziellen Einflussgrößen 13 Kovariablen mit relevantem Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit, Zwergschlammschnecken an einem bestimmten Standort vorzufinden, aus. Davon zählen sechs zu den gelände- und bodenabhängigen Kovariablen und sieben zu den klimaabhängigen Einflussgrößen. Einen Überblick bietet Tabelle 2.

Für die Durchführung der vorliegenden Arbeit war es notwendig, die Daten zu den relevanten 13 Kovariablen zu beschaffen. Im Gegensatz zu vorangegangenen Projekt (RÖBLER, 2016), das Schweizer Daten beinhaltete, mussten im vorliegenden Projekt deutsche Daten verwendet werden. Im Weiteren wird auf die dadurch entstandenen Unterschiede detaillierter eingegangen.

Tabelle 2: Überblick über die ausgewählten Kovariablen

Ausgewählte Kovariablen	
Klimavariablen	Gelände- und bodenabhängige Kovariablen
Eistage-3	Riet und Feuchtflächen
Hitzetage-1	Hangwasseraustritt
Temp200max>30-1	Gewässer im Umkreis von 100 m
Temp200mean>20-1	Bäume und Sträucher
Temp5mean>20-1	Gründigkeit
Temp5mean<0-2	Wasserspeichervermögen
Temp5max<0-3	

3.1. Gelände- und bodenabhängige Einflussgrößen

3.1.1. Riet und Feuchtf Flächen

Feuchtf Flächen bieten für viele Krankheitsüberträger wie Schnecken und Mücken einen Lebensraum. So auch für die Zwergschlammschnecke, für die Feuchtf Flächen wesentliche Primärhabitats darstellen (FRÖMMING, 1956; TORGERSON und CLAXTON, 1999; RONDELAUD et al., 2011; DE ROECK et al., 2014).

Diese Gebiete wurden mittels Felduntersuchung und unter Zuhilfenahme von Kartenmaterial identifiziert. Das verwendete Kartenmaterial wurde vom Bayerischen Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung zur Verfügung gestellt. Es handelt sich hierbei um ein digitales Orthophoto, welches ein maßstabsgetreues Luftbild darstellt, sowie um die digitale Ortskarte 1:10.000, die vierteljährlich aktualisiert wird (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG).

3.1.2. Hangwasseraustritt

Hangwasseraustrittsstellen zählen ebenso zu den Primärhabitats der Zwergschlammschnecke (MATT et al., 2007; KNUBBEN-SCHWEIZER et al., 2011). Sie wurden in bisherigen Modellen zur Vorhersage des Fascioloserisikos kaum berücksichtigt (RÖBLER, 2016). Diese Tatsache kann als Schwäche einer interaktiven Karte zum Fascioloserisiko in der Schweiz (RAPSCH et al., 2008) vermutet werden (BAGGENSTOS et al., 2016).

Das in der vorliegenden Arbeit untersuchte Gebiet wurde mittels Feldbegehungen auf Hangwasseraustrittsstellen geprüft.

3.1.3. Gewässer im Umkreis von 100 m

Langsam fließende, seichte Bachläufe oder Drainagegräben gelten ebenfalls als Primärhabitats der Zwergschlammschnecke (MEHL, 1932b; KNUBBEN-SCHWEIZER et al., 2011; RONDELAUD et al., 2011; DE ROECK et al., 2014). Mithilfe der Digitalen Ortskarte 1:10.000, sowie des Digitalen Orthophotos des Bayerischen Landesamtes für Digitalisierung, Breitband und Vermessung wurden diese lokalisiert (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG). Dabei werden allerdings auch Flüsse und Bachläufe erfasst, die eine hohe Fließgeschwindigkeit haben und daher erfahrungsgemäß als Habitats im Grunde ungeeignet sind (MEHL, 1932b).

3.1.4. Bäume und Sträucher

Die Vegetation hat einen großen Einfluss auf das Vorkommen von *Galba truncatula*. Kleinere Baum- oder Buschbestände können die Zwergschlammschnecken vor äußeren Einflüssen wie Austrocknung oder direkter Sonneneinstrahlung schützen (RÖßLER, 2016). Dichter Wald, beispielsweise an Flussläufen, führt durch zu geringe Sonneneinstrahlung zu vermindertem Algenwachstum. So fehlt den Schnecken ihre Nahrungsgrundlage (PETZOLD, 1989b).

Das Vorhandensein von Bäumen und Sträuchern im Untersuchungsgebiet wurde anhand des Digitalen Orthophotos des Bayerischen Landesamtes für Digitalisierung, Breitband und Vermessung überprüft (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG). Außerdem wurde die Luftbildfunktion des Bayernatlas, des Kartenviewers des Freistaates Bayern, zu Hilfe genommen (BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG, 2017). Dieser ist frei zugänglich und ermöglicht ein Hineinzoomen in Karten unterschiedlicher Maßstäbe oder Themengebiete (<https://geoportal.bayern.de/bayernatlas>). Verantwortlich für die bereitgestellten Daten ist dabei die Bayerische Vermessungsverwaltung.

3.1.5. Gründigkeit

Als Gründigkeit wird die Tiefe des potenziell durchwurzelbaren Bodenraumes definiert. Die physiologische Gründigkeit oder auch die Durchwurzelbarkeit ist die Tiefe, bis zu der die Pflanzenwurzeln tatsächlich eindringen können. Begrenzt wird diese durch mechanische Barrieren wie festes Gestein oder verfestigte Horizonte sowie durch physiologische Begrenzungen wie wassergesättigte Unterbodenhorizonte mit Sauerstoffmangel (AD-HOC-AG BODEN, 2005; SCHEFFER et al., 2010).

Die Einstufung der physiologischen Gründigkeit unterscheidet sich in Deutschland und in der Schweiz in einigen Punkten. Die beiden Einstufungsverfahren sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Gegenüberstellung Gründigkeitsenteilung Deutschland / Schweiz

Deutschland			Schweiz		
Physiologische Gründigkeit (in dm)			Gründigkeit (in cm)		
Wp0	keine	0	1	sehr flach	< 30
Wp1	sehr flach	0 - < 1,5	2	flach	30 – 60
Wp2	flach	1,5 - < 3	3	mittel	60 – 90
Wp3	mittel	3 - < 7	4	tief	90 – 120
Wp4	tief	7 - < 12	5	sehr tief	> 120
Wp5	sehr tief	12 - < 20			
Wp6	äußerst tief	≥ 20			

2

Die für das Untersuchungsgebiet benötigten Angaben zur physiologischen Gründigkeit wurden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt in Form einer Exceltabelle bereitgestellt, die als Tabelle 13 des Anhangs zu finden ist. Aus ihr kann die Gründigkeitsstufe der im Untersuchungsgebiet auftretenden Hauptbodentypen abgelesen werden. Bei der Zuordnung der Gründigkeitseinstufung des jeweiligen Bodentyps wird der Profilaufbau des Bodens mit seiner Horizontabfolge berücksichtigt. Grundlage zur Einteilung bildete die Bodenübersichtskarte 1: 25.000 des Bayerischen Landesamts für Umwelt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2015).

3.1.6. Wasserspeichervermögen

Das Wasserspeichervermögen gibt an, wieviel Wasser, das durch Tensionskräfte im Boden festgehalten wird, bei einer Saugspannung von 100 hPa – 1000 hPa (pF 2-3) einem bestimmten Bodenvolumen entnommen werden kann und so für Pflanzen leicht verfügbar ist. Die Einstufung erfolgt in sechs Klassen. Der Begriff des Wasserspeichervermögens wird in der deutschen Bodenkunde nicht verwendet. Daher wurde für das vorliegende Modell auf die nutzbare Feldkapazität zurückgegriffen, die in etwa dem Wasserspeichervermögen entspricht. Hierbei wird die Menge des Bodenwassers angesprochen, die bei einer definierten Saugspannung zwischen 60 hPa – 16000 hPa (pF 1,8 - 4,2) gebunden ist und sich aus der Differenz zwischen Feldkapazität und permanentem Welkepunkt berechnet (AD-HOC-AG BODEN, 2005). Eine Gegenüberstellung der Einstufung des Wasserspeichervermögens und der nutzbaren Feldkapazität ist in Tabelle 4 zu finden.

² Wp = potenzieller Wurzelraum

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Einteilungen der nutzbaren Feldkapazität und des Wasserspeichervermögens

Nutzbare Feldkapazität (pF 1,8 – 4,2; in Volumen - %)			Wasserspeichervermögen (pF 2 - 3; in mm Wassersäule)		
sehr gering	1	< 6	extrem gering	1	< 15
gering	2	6 - < 14	sehr gering	2	15 – 30
mittel	3	14 - < 22	gering	3	30 – 45
hoch	4	22 - < 30	mäßig	4	45 – 60
sehr hoch	5	≥ 30	gut	5	60 – 100
			sehr gut	6	> 100

Die benötigten Daten wurden ebenfalls vom Bayerischen Landesamt für Umwelt mittels einer Excel-Tabelle bereitgestellt, die als Tabelle 13 des Anhangs beigelegt ist. Hier wurde die nutzbare Feldkapazität für die Mittelporen (pF 2,5 - 4,2) berechnet. Aus Angaben zur nutzbaren Feldkapazität der einzelnen Horizonte der Bodenprofile und aus der Kenntnis über den Anteil der einzelnen Bodenprofile an der vorliegenden Bodeneinheit wurde die nutzbare Feldkapazität für die betreffende Bodeneinheit ermittelt. Die Angaben zur Bodeneinheit wurden ebenfalls über die Übersichts-Bodenkarte 1:25.000 des Landesamtes für Umwelt bezogen, die alle verfügbaren geowissenschaftlichen Themen zum Boden enthält (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2015).

3.2. Temperaturvariablen

Von 48 ursprünglich eingegangenen Kovariablen, die sowohl die Temperaturabhängigkeit der Zwergschlammschnecke als auch deren Feuchtigkeitsabhängigkeit (in Form von Niederschlagsvariablen) berücksichtigen, wählte das *glmmLasso*-Modell sieben Kovariablen aus, die allerdings ausschließlich zu den Temperaturvariablen zählen.

Zu diesen sieben Temperaturparametern zählen mittlere und maximale Tageswerte der 20 cm über dem Boden gemessenen Lufttemperatur sowie mittlere und maximale Tageswerte der Erdbodentemperatur. Diese wird 5 cm über dem Boden gemessen.

Außerdem wurden als Temperaturextrema Hitze- und Eistage ausgewählt. Angaben zu diesen beiden Variablen konnten nicht direkt aus dem Datenportal abgerufen werden. Sie wurden nach ihrer Definition mittels Excel aus den bezogenen Temperaturdaten berechnet.

3.2.1. Datengranularität und – zeitraum

Um zu gewährleisten, dass der vollständige Schneckenzyklus mit allen potenziellen Einflussgrößen berücksichtigt werden kann, wurden in Anlehnung an die Arbeit von RÖBLER (2016) Umweltdaten aus einem Zeitraum von drei Jahren vor dem Tag der Feldbegehung berücksichtigt.

Mithilfe des Ewigen Kalenders wurde dieser Zeitraum berechnet. Es erfolgte eine Rückrechnung ab Datum der Felduntersuchung um 1095 Tage. Dies wurde für jedes Datum der insgesamt zehn Felduntersuchungen durchgeführt (<http://www.salesianer.de/util/kal4dnld.html>).

Alle Temperaturvariablen, deren Messung in einer Höhe von 2 m über dem Erdboden stattfindet, liegen in der feinst möglichen Granularität von einem Tag vor. Die Variablen, deren Temperatur bei 5 cm über dem Boden gemessen wird, stehen in einer Granularität von einer Stunde zur Verfügung.

3.2.2. Datenbezugsquelle

Sämtliche erforderlichen Temperaturdaten wurden vom Deutschen Wetterdienst, einer Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, bezogen. Über das Portal Weste-XL können die wichtigsten Wetterdaten kostenfrei abgerufen und als Excel-Datei heruntergeladen werden (WETTERDIENST, 2017).

Die Temperaturwerte wurden mit einer Nachkommastelle angegeben.

3.2.3. Auswahl repräsentativer Wetterstationen

Zunächst wurde für den Temperaturdatenbezug die Wetterstation „Kaufbeuren“ ausgewählt, die mit einer Distanz von 13,5 km die geringste Entfernung zum Untersuchungsgebiet aufweist und sich auf ähnlicher Höhenlage befindet.

Allerdings musste festgestellt werden, dass von dieser Wetterstation im April 2016 keine Werte geliefert wurden und ab Mai 2016 eine Verlegung der Station stattfand. Es war daher nicht möglich mittels der von dieser Station bezogenen Werte einen kompletten Datensatz für den gesamten Untersuchungszeitraum zusammenzustellen. Um möglichst realistische Angaben für das Untersuchungsgebiet zu erhalten, wurden deshalb die benötigten Temperaturdaten mittels Interpolation der Werte verschiedener benachbarter Wetterstationen berechnet.

3.2.3.1. Auswahl der Wetterstationen für die Interpolation

Für die Interpolation der Wetterdaten wurden vier Wetterstationen ausgewählt, die sich auf die vier Himmelsrichtungen um das Untersuchungsgebiet verteilen. Es wurden nur Wetterstationen betrachtet, die weniger als 50 km vom Untersuchungsgebiet entfernt liegen. Die maximale Distanz zwischen Wetterstation und Untersuchungsgebiet betrug somit 44,4 km.

Allerdings fielen beim Datenbezug bei jeder der vier ausgewählten Messstationen Lücken in der Datenbereitstellung auf. Diese Lücken konnten durch Daten von anderen Messstationen, die zur jeweils lückenhaften Station nächstgelegen waren, gefüllt werden. Tabelle 14 des Anhangs bietet einen Überblick über die Lücken in der Datenbereitstellung und Tabelle 15 des Anhangs enthält alle für die Interpolation verwendeten Messstationen mit Distanz- und Höhenangaben.

Eine weitere Herausforderung ergab sich daraus, dass die Erdbodentemperatur nur in Stundenwerten abgerufen werden konnte. Daher erfolgte vor der Interpolation noch eine Umrechnung der Stunden- in Tageswerte.

Der komplette Temperaturdatensatz enthält für jedes Datum der Felduntersuchung Angaben zu folgenden temperaturabhängigen Kovariablen: *Eistage-3*, *Temp5max<0-3*, *Temp200max>30-1*, *Temp200mean>20-1*, *Temp5mean>20-1*, *Temp5mean<0-2*, *Hitzetage-1*. Hierbei bezieht sich das „-3“ auf das dritte Jahr, „-2“ auf das zweite Jahr und „-1“ auf das erste Jahr vor dem Zeitpunkt der Felduntersuchung.

3.2.3.2. Interpolationsverfahren

Mittels Interpolation wurden die Temperaturwerte für das Untersuchungsgebiet aus den Werten der vier ausgewählten Wetterstationen berechnet. Dabei wurden die Höhenlage und die Entfernung der jeweiligen Station berücksichtigt. Dies wurde mithilfe der Kombination zweier verschiedener Interpolationsverfahren erreicht. Diese Kombination wurde in der Diplomarbeit von Herrn Jörg Niederberger durchgeführt und getestet (NIEDERBERGER, 2000). Es kann zu jedem Messzeitpunkt neu entschieden werden, ob die Verfahren kombiniert werden oder ob eines alleine angewendet wird. Somit ist die Interpolation im Gesamten sehr flexibel.

Das erste Verfahren ist eine einfache lineare Höhenregression. Hierbei wird ein linearer Zusammenhang zwischen Temperatur und Höhenlage angenommen.

(BÜHNER und ZIEGLER, 2009). Die Regressionsanalyse kann anschließend mittels Korrelationskoeffizient r und Bestimmtheitsmaß r^2 überprüft werden. Dem Korrelationskoeffizient r werden Werte zwischen -1 und 1 zuteil. Er lässt den Zusammenhang zwischen der abhängigen und der unabhängigen Variable erkennen: Je mehr der Betrag von r gegen 1 geht, desto stärker ist der Zusammenhang. Das Bestimmtheitsmaß r^2 charakterisiert die Güte der Regression und kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Hier gilt, je größer r^2 desto geringer weichen die Wertepaare von der Regressionsgeraden ab (NIEDERBERGER, 2000).

Das zweite hier angewendete Verfahren ist das Inverse Distance Weight Verfahren. Ihm liegt das Prinzip der räumlichen Korrelation zugrunde (RIEDL, 2008). Es wird angenommen, dass eine in der Nähe liegende Messstation den gesuchten Wert besser darstellt als eine weiter entfernt gelegene Messstation. Dabei ist der Wichtungsfaktor zum Quadrat des Abstandes umgekehrt proportional.

Die Kombination der beiden Verfahren erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst wird die Höhenregression für jeden Tagesschritt berechnet. Anschließend entscheidet der Wert des Bestimmtheitsmaßes r^2 der Höhenregression, ob alleine mit dieser Methode interpoliert werden kann, ob eine Kombination der Verfahren nötig ist oder ob das Inverse Distance Weight Verfahren alleine angewendet werden sollte. Liegt der Wert $< 0,3$ wird ausschließlich mit dem Nachbarschaftsverfahren gearbeitet, liegt er zwischen 0,3 und 0,8 werden beide Verfahren miteinander kombiniert und ist er $> 0,8$ wird die Interpolation mit der Höhenregression alleine umgesetzt (NIEDERBERGER, 2000).

Bei der Kombination beider Verfahren wird die Berechnung des gesuchten Wertes mit folgender Formel durchgeführt:

$$\gamma = H \cdot r^2 + IDW \cdot (1 - r^2)$$

mit: γ = gesuchter Wert

H = Schätzwert der Höhenregression

IDW = Schätzwert der Inverse Distance Weight Methode

r^2 = Bestimmtheitsmaß der Höhenregression

4. Durchführung der Felduntersuchungen

4.1. Untersuchungsgebiet

Zur Überprüfung des von Dr. Anne Rößler entwickelten *glmmLasso*-Modells wurden Felduntersuchungen durchgeführt.

Diese fanden in Rappen bei Unteregg im Allgäu größtenteils auf Flächen des Demeter-Betriebes der Schwarz und Paulus GbR statt. Der Betrieb besitzt Felder, die am Fluss Mindel gelegen sind und sich auf einer Höhe von etwa 700 Meter über dem Meer befinden. Außerdem gibt es eine Hochfläche, die sich auf einer Höhe von etwa 750 Meter über Meeresspiegel erstreckt.

Das gesamte für dieses Projekt festgelegte Untersuchungsgebiet erreicht eine Fläche von etwa 64 Hektar und ist in Abbildung 2 dargestellt.

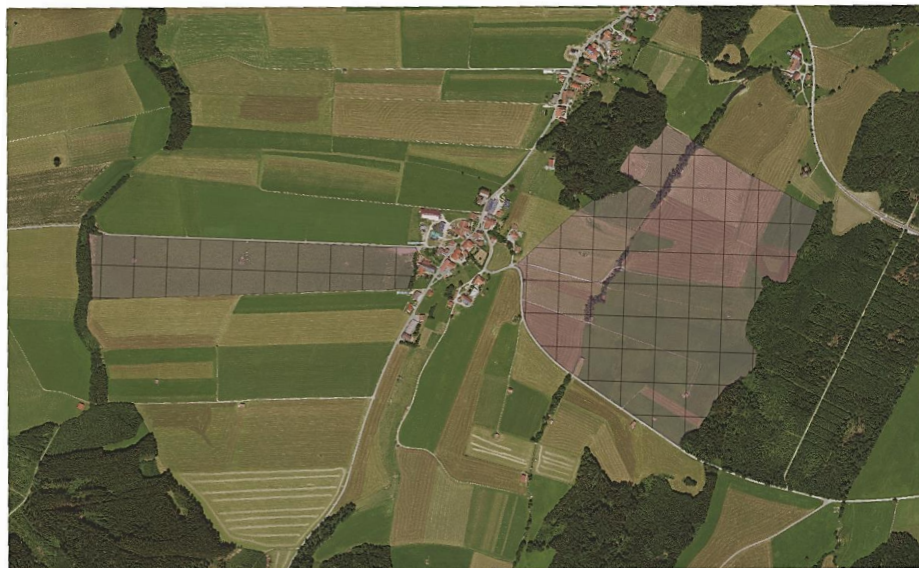


Abbildung 2: Modifiziertes Orthophoto des für die Studie festgelegten Untersuchungsgebietes (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2015)

4.2. Zeitraum der Felduntersuchungen

Die erste Begehung des Untersuchungsgebietes fand am 29.11.2014 statt. Hierbei wurde sich ein Überblick über die räumliche Strukturierung des Gebietes verschafft. Außerdem wurden potenzielle Habitate der Zwergschlamm Schnecke ausfindig gemacht, die im weiteren Verlauf des Projektes regelmäßig untersucht werden sollten.

Vom 18.06.2015 bis einschließlich 25.09.2016 wurden regelmäßig Felduntersuchungen durchgeführt. Es wurden monatlich, mit Ausnahme der Wintermonate, Feuchtstellen auf das Vorhandensein von *Galba truncatula* überprüft. Insgesamt fanden zehn Felduntersuchungen statt, wobei jeweils fünf potenzielle Habitate besichtigt wurden. Jedes der Habitate wurde 30 Minuten lang auf die Anwesenheit von Zwergschlammschnecken untersucht. Die gefundenen Zwergschlammschnecken wurden grob identifiziert, quantifiziert und anschließend wieder zurückgesetzt. Außerdem wurden Aufzeichnungen über das Vorhandensein von weiteren Schneckenarten geführt.

Des Weiteren wurden stichprobenartig auch Stellen untersucht, die bei der ersten Begehung nicht als potenzielles Schneckenhabitat eingestuft worden waren.

4.3. Potenzielle Fundorte

Als potenzielle Fundorte wurden Standorte festgelegt, die nach einem ersten Übersichtsbesuch den Anschein erweckten als geeignetes Zwergschlammschneckenhabitat in Frage zu kommen. Grundsätzlich gliedern sich die untersuchten Flächen in eine stets trockene Fläche in höherer Lage und eine zumeist feuchtere Fläche in tieferer Lage, die an den Fluss Mindel angrenzt und von Drainagegräben durchzogen wird. Des Weiteren sind Flächen mit Hanglage anzutreffen. Die potenziellen Fundorte befinden sich auf der tiefer gelegenen Fläche sowie in Hanglage und werden im Folgenden näher beschrieben.

4.3.1. Potenzieller Fundort I

Es handelt sich um ein etwa 13 m langes offenes Stück eines Drainagegrabens mit schlammigem Boden. Je nach Felduntersuchungszeitpunkt stellte sich das Grabenstück unterschiedlich dar. So führte es von „gar kein Wasser“ über „wenig Wasser“ bis „viel recht schnell fließendes Wasser“ und zeigte sich differierend dicht zugewachsen. Am Rand des Grabens befand sich stets Binse. Abbildung 3 zeigt das Habitat im Mai 2016.



Abbildung 3: Potenzieller Fundort I, fotografiert im Mai 2016

4.3.2. Potenzieller Fundort II

Bei diesem Habitat handelt es sich um ein Quellwasser in einer Wiesenfläche am Waldrand. Die Fläche erschien bei fast allen Begehungen als sehr feucht, wobei mehrfach auch in Trittsiegeln oder Traktorspuren stehendes Wasser auszumachen war. Auch hier fand sich Binse an mehreren Stellen. Abbildung 4 zeigt die Fläche im April 2015.



Abbildung 4: Potenzieller Fundort II, fotografiert im April 2015

4.3.3. Potenzieller Fundort III

Dieser potenzielle Fundort stellt sich als offenes Drainagegrabensystem dar. Dabei ist der Boden teils sehr schlammig, teils steinig. Der Graben an sich ist stellenweise offen, stellenweise sehr zugewachsen und je nach Begehungszeitpunkt waren „nur seichte Wasseransammlungen“ bis zu „viel fließendem Wasser“ zu beobachten. Wie bei den oberen Habitaten wuchs auch hier Binse. Abbildung 5 zeigt den Graben im Mai 2016.



Abbildung 5: Potenzieller Fundort III, fotografiert im Mai 2016

4.3.4. Potenzieller Fundort IV

Auch hierbei handelt es sich um ein offenes Drainagegrabensystem. Im Vergleich zum potenziellen Fundort III war stets weniger Wasser, das sehr selten fließend war, im Graben zu finden. Der Graben zeigte sich oft zugewachsen, enthielt viel Schlamm und ebenfalls Binse. Abbildung 6 zeigt das Habitat im Mai 2016.



**Abbildung 6: Potenzieller Fundort IV,
fotografiert im Mai 2016**

4.3.5. Potenzieller Fundort V

Das Habitat V ist eine Hangwasseraustrittsstelle. Damit ist ein Geländepunkt gemeint, an dem in Hanglage Quellwasser austritt. Diese Stelle war meist von hohem Gras bewachsen und stellte sich stets feucht dar, wobei je nach Zeitpunkt stehendes seichtes Wasser in Mulden oder auch langsam bergab fließendes Wasser beobachtet werden konnte. Binse trat auch an diesem Untersuchungsort auf. Abbildung 7 zeigt die Hangwasseraustrittsstelle im April 2016.



Abbildung 7: Potenzieller Fundort V, fotografiert im April 2015

4.4. Identifikation der Schnecken

Um endgültige Gewissheit über die Art der gefundenen und quantifizierten Schnecken zu erhalten, wurde eine Auswahl der in Rappen hauptsächlich vorkommenden Schnecken von Frau Katrin Koller, Technische Mitarbeiterin der Sektion Mollusca der Zoologischen Staatssammlung München, untersucht.

Hierbei wurde die *Galba truncatula* als solche bestätigt. Außerdem wurden *Succinea putris* = Gemeine Bernsteinschnecke, *Radix labiata* = Gemeine Schlammschnecke und *Cochliopa lubrica* = Gemeine Glattschnecke als weitere im Untersuchungsgebiet lebende Schnecken identifiziert.

5. Erstellen der Risikokarten

Insgesamt wurden von Frau Dr. Nadja Pöllath aus dem Lehrstuhl für Paläoanatomie, Domestikationsforschung und Geschichte der Tiermedizin der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München elf Karten des Untersuchungsgebietes mittels des Programmes QGIS erstellt (QGIS, 2017).

5.1. Rasterung und Codierung

Das Untersuchungsgebiet wurde in Rasterfelder unterteilt. Diese Rasterfelder wurden, angelehnt an die interaktive Karte, die im Jahre 2008 in der Schweiz entwickelt wurde, mit einer Fläche von 100 m x 100 m geplant. Einzelne Felder am Rande des Untersuchungsgebietes haben infolgedessen einen geringeren Flächeninhalt (RAPSCH et al., 2008). So ergeben sich insgesamt 95 Rasterfelder, die Abbildung 8 zeigt und für welche jeweils alle nötigen 13 Kovariablen zur Verfügung standen.

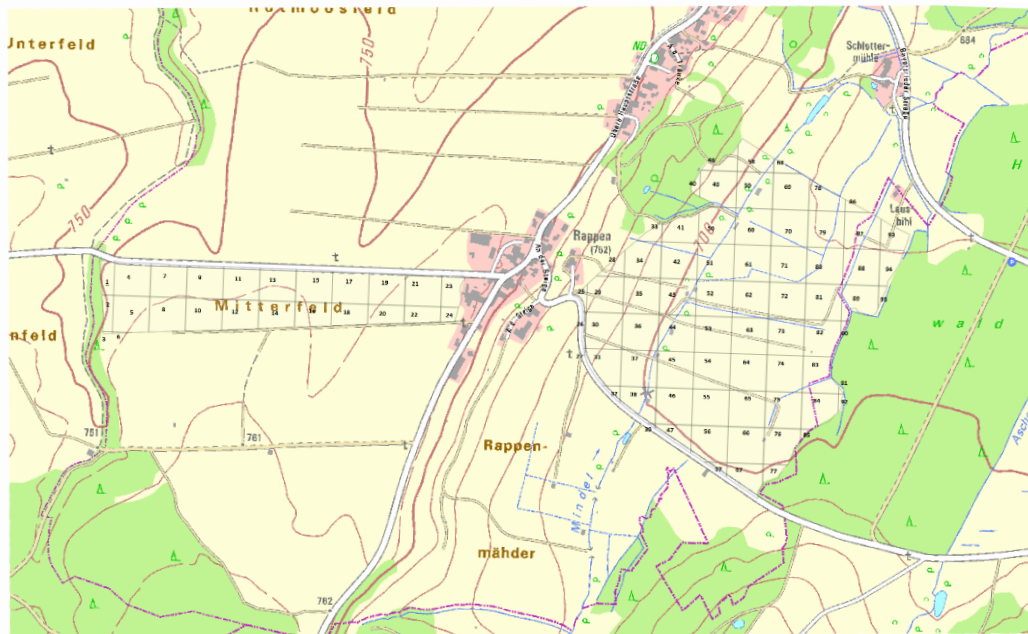


Abbildung 8: Modifizierte Digitale Ortskarte des Untersuchungsgebietes mit nummerierten Rasterfeldern (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2016)

5.1.1. Temperaturvariablen

Durch das *glmmLasso*-Modell wurden insgesamt sieben Klimavariablen ausgewählt, die für die Vorhersage der Wahrscheinlichkeit an einem bestimmten Ort Zwergschlamm Schnecken anzutreffen, eine Rolle spielen. Diese sieben Variablen sind *Eistage-3*, *Temp5max>0-3*, *Temp200max>30-1*, *Temp200mean>20-1*, *Temp5mean>20-1*, *Temp5mean<0-2* und *Hitzetage-1*. Aufgrund der Gegebenheit, dass die Temperaturvariablen mittels des weiter vorne beschriebenen Interpolationsverfahrens berechnet wurden, das eine lineare Höhenregression mit dem Inverse Distance Weight-Verfahren kombiniert, können

die unterschiedlichen Höhenlagen des Untersuchungsgebietes berücksichtigt werden. So kommt es, dass nicht für alle 95 Felder zwingend der gleiche Wert in das Modell einfließt, wie es der Fall wäre, wenn Werte von einer einzelnen Temperaturmessstation zur Verfügung stünden.

5.1.2. Gelände- und bodenabhängige Einflussgrößen

5.1.2.1. Bäume und Sträucher

Die Variable *Bäume und Sträucher* fließt in den Datensatz als 0 für keine beziehungsweise 1 für vorhandene Bäume oder Sträucher ein. Hierbei wird ein Rasterfeld mit 1 bewertet, wenn mehrere Bäume oder Sträucher vorkommen, wohingegen ein einzelner Baum pro Rasterfeld einen zu geringen Einfluss auf die gesamte Rasterfeldfläche hat und somit ein solches Rasterfeld mit 0 bewertet wird.

5.1.2.2. Gewässer im Umkreis von 100 m

Um beurteilen zu können, ob ein Rasterfeld in einem geringeren Abstand als 100 m zu einem Fluss oder Bachlauf liegt, wurde auf ein Luftbild die Rasterung gelegt und die Abstände von 100 m zu entsprechenden Flüssen, Gräben oder Bachläufen eingetragen. Die Variable *Gewässer im Umkreis von 100 m* fließt in das Modell ebenfalls als 0 oder 1 ein, wobei ein Feld mit 1 bewertet wird, wenn über die Hälfte seines Flächeninhaltes weniger oder gleich 100 m von einem Gewässer entfernt ist.

5.1.2.3. Hangwasseraustritt, Riet und Feuchtflächen

Die Ausprägung der zwei Kovariablen *Hangwasseraustritt* sowie *Riet und Feuchtflächen* floss ebenfalls mit 0 beziehungsweise 1 in das Modell ein. Wie oben beschrieben, wird ein Feld mit 1 bewertet, wenn über die Hälfte seiner Fläche eine Hangwasseraustrittsstelle oder eine Feuchtfläche enthält, anderenfalls wird es mit 0 bewertet.

5.1.2.4. Gründigkeit

Nicht alle Gründigkeitsstufen wurden in der vorangegangenen Arbeit als einflussreich bewertet. Vielmehr scheint nur die Stufe Gründigkeit 4 der Schweizer Klassifikation, also eine tiefe Gründigkeit, einen Einfluss auf das Vorhandensein von *Galba truncatula* auszuüben. Im Untersuchungsgebiet kommen zwei verschiedene Gründigkeitsstufen nach Deutscher Klassifizierung vor, die Wp 4, eine tiefe Gründigkeit und die Wp 5, eine sehr tiefe Gründigkeit. Die Einteilung der

Rasterfelder in die verschiedenen Gründigkeitsstufen erfolgte ebenfalls nach vorherrschendem Flächenanteil. Dabei wurde die deutsche Wp 4 als schweizerische Gründigkeit 4 gewertet, sowie die Wp 5 als Gründigkeit 5. Gründigkeit 4 wurde hierbei mit 1 bewertet, wenn die Gründigkeit 4 vorlag, ansonsten floss sie als 0 in den Datensatz ein. Ebenso wurde ein Vorliegen der Gründigkeit 5 mit 1 bewertet und anderenfalls mit 0.

5.1.2.5. Wasserspeichervermögen

Wie bei der Gründigkeit bewertete das *glmmLasso*-Modell nicht alle Wasserspeichervermögensstufen als entscheidend. Allein die Stufen 4 (= mäßiges Wasserspeichervermögen) und 6 (= sehr gutes Wasserspeichervermögen), scheinen auf die Zwergschlammschnecke einzuwirken. Im Untersuchungsgebiet können zwei unterschiedliche Stufen der nutzbaren Feldkapazität, die in diesem Fall das Schweizer Wasserspeichervermögen ersetzt, angetroffen werden. Es handelt sich um die Stufe 2, die eine geringe nutzbare Feldkapazität bezeichnet und die Stufe 3, bei welcher es sich um eine mittlere nutzbare Feldkapazität handelt. Die Zuteilung der Rasterfelder zu einer entsprechenden Stufe ergab sich wiederum mittels vorherrschendem Flächenanteil. Die Stufe 2 wurde dabei dem Wasserspeichervermögen 3 zugeteilt und die Stufe 3 dem Wasserspeichervermögen 4. Die Bewertung mit 0 und 1 erfolgte nach demselben Prinzip, das bei der Gründigkeit angewandt wurde.

5.2. Das Programm QGIS

QGIS ist ein freies Geoinformationssystem, mit dem Geodaten erfasst, bearbeitet, gespeichert, visualisiert und analysiert werden können. QGIS steht unter der GNU General-Public-License und ist offizielles Mitglied der Open-Source-Geospatial-Foundation. Es ermöglicht die Verwendung von Vektor- und Rasterdaten verschiedener Datenformate (QGIS, 2017). In der vorliegenden Arbeit wurde die zum Zeitpunkt der Studie aktuellste Version 2.18 Las Palmas verwendet.

5.3. Kartendesign

Um die Risikokarten erstellen zu können, wurde für jedes einzelne Rasterfeld die Wahrscheinlichkeit Schnecken anzutreffen mittels des *glmmLasso*-Modells berechnet und anschließend je nach Risikoklasse eingefärbt. Hierfür wurden drei Risikoklassen bestimmt, die durch die Farben grün, gelb und rot visualisiert werden. Grün steht dabei für kein, gelb für mittleres und rot für hohes Risiko. Der

jeweils zugehörige Bereich der berechneten Wahrscheinlichkeiten ist in Tabelle 5 abzulesen.

Tabelle 5: Einteilung der errechneten Wahrscheinlichkeiten in Risikokategorien

Wahrscheinlichkeit	Risikokategorie
$\leq 0,3333$	0
$0,3333 - \leq 0,6667$	1
$> 0,6667$	2

Als Hintergrund dienen den Risikokarten zwei übereinander gelagerte Karten. Es handelt sich dabei um die Digitale Ortskarte mit dem Maßstab 1:10.000 sowie um das Geländere relief mit Bodenauf lösung 1,0 Meter, bei welchem es sich um ein Schummerungsbild aus dem Digitalen Geländemodell handelt, bei dem das Gelände als Grauwertbild dargestellt wird. Beide Karten wurden vom Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern zur Verfügung gestellt.

Aufgrund des verwendeten Kartenmaterials sind Siedlungen, Straßen und Wege, Wälder, Seen, Flüsse und Quellen sowie Höhenlinien und Grenzen auf den Risikokarten zu sehen. Außerdem sind auf den Risikokarten eine Legende zu den Risikoklassen und ein Maßstab abgebildet.

5.4. Kartenanzahl

Wie bereits erwähnt wurden insgesamt elf Risikokarten des Untersuchungsgebietes erstellt. Da zehn Felduntersuchungen stattfanden, wurde jeweils eine Karte für das jeweilige Felduntersuchungsdatum erstellt. Außerdem wurde eine elfte Karte erstellt, die einen Überblick über den gesamten Zeitraum der Felduntersuchungen bietet. Die Wahrscheinlichkeit für jedes Rasterfeld wurde hierbei aus dem Median der zehn Wahrscheinlichkeiten, die sich pro Rasterfeld zu den zehn Felduntersuchungsdaten ergeben, berechnet.

6. Validierung der Karten

6.1. Berechnung von Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktiven Werten

Um die elf erstellten Risikokarten des Untersuchungsgebietes überprüfen zu können, wurden Sensitivität und Spezifität sowie positiv und negativ prädiktive Werte berechnet.

Die Sensitivität gibt die richtig positive Rate eines Tests an. In diesem Fall ist das die Wahrscheinlichkeit, dass die risikoreichen Rasterfelder der Karten auch korrekt positiv sind. Sie wird mit folgender Formel berechnet:

- Sensitivität = Richtig positive / (Richtig positive + Falsch negative)

Die Spezifität beschreibt die richtig negative Rate eines Tests und somit die Wahrscheinlichkeit unter allen Rasterfeldern der Karten die risikofreien Felder als negativ zu identifizieren. Sie wird wie folgt definiert:

- Spezifität = Richtig negative / (Richtig negative + Falsch positive)

Der positiv prädiktive Wert zeigt auf, wie viele der als risikoreich identifizierten Felder auch tatsächlich risikoreich sind und wurde folgendermaßen definiert:

- Positiv prädiktiver Wert = Richtig positive / (Richtig positive + Falsch positive)

Der negativ prädiktive Wert bestimmt den Anteil der Rasterfelder, die laut der Karten risikofrei sind und auch tatsächlich nach den Feldbegehungen als richtig negativ eingestuft werden konnten. Seine Berechnung wurde dergestalt festgelegt:

- Negativ prädiktiver Wert = Richtig negative / (Richtig negative + Falsch negative)

Zur Berechnung der vier Werte konnten nicht alle Rasterfelder der Risikokarten herangezogen werden, da nicht jedes Rasterfeld zu jedem Felduntersuchungsdatum untersucht und auf das Vorhandensein von Schnecken überprüft wurde. Es wurden nur solche Rasterfelder beurteilt, zu denen auch eine sichere Aussage getroffen werden konnte. Dazu zählen die Rasterfelder, die den einzelnen potenziellen Fundorten zugeordnet werden konnten, sowie Rasterfelder, die zweifellos als risikofrei zu bewerten sind. Somit ergaben sich insgesamt 58 auswertbare Rasterfelder, die in Abbildung 9 zu erkennen sind.

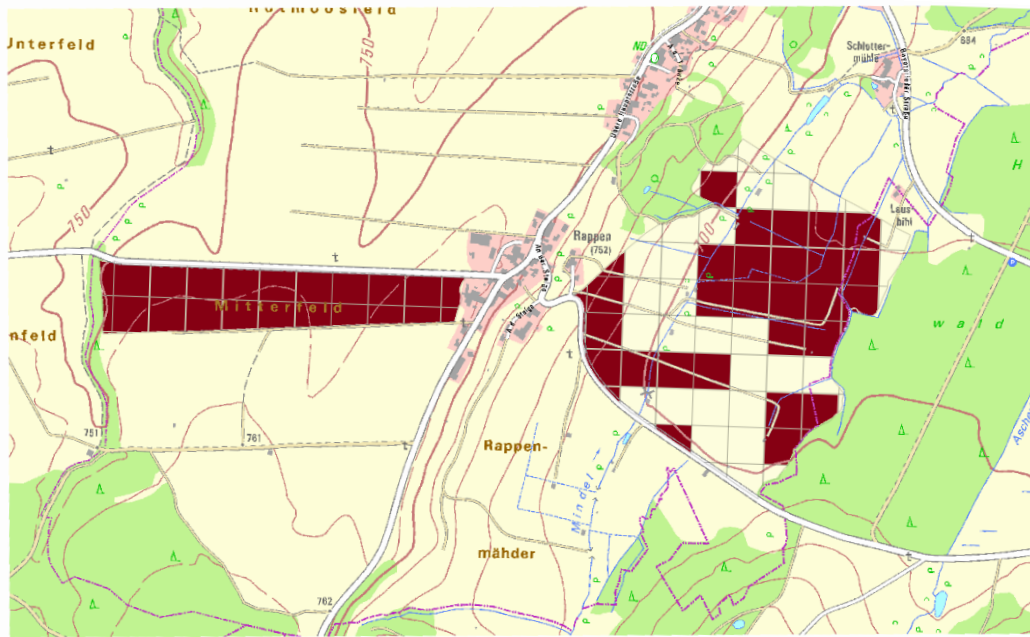


Abbildung 9: Modifizierte Digitale Ortskarte mit Übersicht über die auswertbaren Felder (rot gefärbt) (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2016)

Mittels Excel 2013 wurden die benötigten Werte zu den elf Risikokarten in zwei Varianten berechnet. Die erste Variante bewertete die Risikokategorie 0 mit „kein Risiko“ und die Risikokategorien 1 und 2 mit „Risiko vorhanden“, wohingegen in der zweiten Variante die Risikogruppen 0 und 1 als „kein Risiko“ und nur die Risikokategorie 2 als „Risiko vorhanden“ beurteilt wurden.

Mit „richtig positiv“ wurde das Vorhandensein von mindestens einer Schnecke gewertet, wobei auch tote Schnecken mitgezählt wurden. Bei der Validierung der Mediankarte wurde ein Rasterfeld als „richtig positiv“ anerkannt, wenn mindestens einmal während der zehn Feldbegehungen eine Schnecke auf diesem Rasterfeld beziehungsweise an dem zugehörigen potenziellen Fundort ausgemacht wurde.

6.2. Korrelation

Da bei der Validierung der Karten bis hierhin die Schneckenanzahl nicht berücksichtigt werden konnte, wurde in einem zweiten Schritt überprüft, inwieweit die Anzahl der Schnecken mit den berechneten Wahrscheinlichkeiten der Karte korreliert. Da nicht unbedingt von einem linearen Zusammenhang der Variablen ausgegangen wird, wurde Spearman's Rangkorrelationskoeffizient „Rho“

berechnet, der die Rangfolge der Werte und nicht deren Höhe einbezieht und somit auch robust gegenüber Ausreißern ist. Der Koeffizient nimmt Werte zwischen -1 und +1 an, wobei +1 für einen perfekt positiven Zusammenhang steht (KUCKATZ et al., 2013).

Da bei Durchführung der Felduntersuchungen die Schnecken jeweils pro potenziellem Fundort und nicht pro Rasterfeld quantifiziert wurden, konnte nur ein Wert pro potenziellem Fundort zur Korrelationsrechnung herangezogen werden. Dieser Wert wurde berechnet, indem der Median der medianen Wahrscheinlichkeiten der zugehörigen Rasterfelder ermittelt wurde. Einen Überblick darüber, welche Rasterfelder welchem Fundort zugeordnet wurden, bietet Tabelle 6. Des Weiteren konnten Rasterfelder als „Nicht-Fundorte“ mit ihrer jeweiligen medianen Wahrscheinlichkeit in die Korrelation mit einbezogen werden. Somit ergaben sich 38 auswertbare Rasterfelder, bei denen die Korrelation zwischen der medianen Wahrscheinlichkeit und der Summe der Schneckenfunde berechnet werden konnte. Das Problem doppelter Rangplätze wurde gelöst, indem den Feldern mit gleichem Rang der Mittelwert der auf sie entfallenen Rangplätze zugewiesen wurde. Die Rangplatzvergabe ist in Tabelle 16 des Anhangs abzulesen.

Tabelle 6: Zuordnung der einzelnen Rasterfelder zu den jeweiligen Fundorten

Fundort	Rasterfeld
I	45, 54
II	75, 76, 84, 85
III	52, 62, 72, 73, 79, 81, 82, 87, 88, 89
IV	51, 52, 60, 61, 70, 71, 72, 79, 80
V	49

Die Berechnung von Spearman's Rho wurde mittels der KORREL-Funktion von Excel 2013 durchgeführt.

6.3. Signifikanztest

Um zu überprüfen, ob die Korrelation auch in ihrer Grundgesamtheit gilt, wird ein Signifikanztest durchgeführt, der die Zufälligkeit einer Verteilung überprüft, indem zwei Hypothesen einander gegenübergestellt werden: die Nullhypothese und die Alternativhypothese. Hierbei ist die Nullhypothese eine Negativhypothese, die besagt, dass kein Zusammenhang besteht und dass rho gleich Null ist. Die Alternativhypothese besagt das Gegenteil. Sie geht davon aus, dass eine Korrelation zwischen zwei Merkmalen, im Falle dieser Studie der Schneckensumme und der

medianen Wahrscheinlichkeit besteht und somit ρ ungleich Null ist. Des Weiteren handelt es sich hier um ungerichtete Hypothesen, da keine Angabe über die Richtung des Zusammenhangs oder Unterschieds gemacht wird (KUCKATZ et al., 2013).

Das Signifikanzniveau wurde mit 5 % festgelegt, das heißt $p < 0,05$ ist signifikant.

Der Signifikanztest wurde mithilfe des Statistikprogramms R 3.3.1 durchgeführt (R CORE TEAM, 2016).

7. Beteiligte Institutionen

Die Risikokarten entstanden in Zusammenarbeit der Klinik für Wiederkäuer mit Ambulanz und Bestandsbetreuung und dem Lehrstuhl für Paläoanatomie, Domestikationsforschung und Geschichte der Tiermedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München. Darüber hinaus ermöglichten der Deutsche Wetterdienst, das Bayerische Landesamt für Umwelt und das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern die Umsetzung des mathematischen Modells durch die Bereitstellung geeigneter Daten. Ferner wurde das Projekt durch die Zoologische Staatssammlung München bei der Identifikation der Schnecken unterstützt.

IV. ERGEBNISSE

1. Anzahl der *Galba truncatula*-Funde

Total wurden im gesamten Zeitraum der Felduntersuchungen 181 lebende und 15 tote Zwergschlammschnecken an den vorab festgelegten potenziellen Fundorten gesammelt, gezählt und anschließend wieder zurückgesetzt. Des Weiteren wurde bei einer der zehn Felduntersuchungen ein Sekundärhabitat entdeckt, in welchem sich an diesem Tag zahlreiche Zwergschlammschnecken aufhielten. An keinem anderen Felduntersuchungstag wurden dort Zwergschlammschnecken gefunden.

Am meisten Schnecken wurden an Fundort I (54,6 %) und am wenigsten an Fundort V (0 %) gefunden. Blickt man auf die zeitliche Aufteilung der gesamten Zwergschlammschneckenfunde, so wurde am 18.06.2015 die größte Schneckenanzahl (33,7 %) und am 27.09.2015 die geringste (0,5 %) gesammelt.

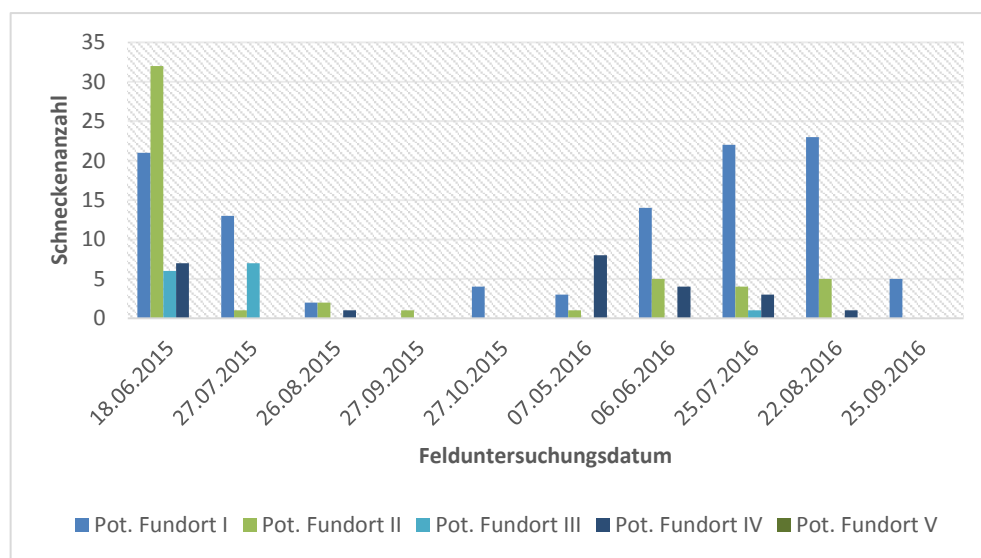


Abbildung 10: Anzahl der Schneckenfunde pro potenziellem Fundort über den gesamten Zeitraum der Felduntersuchungen

Abbildung 10 und Tabelle 17 des Anhangs bieten einen Überblick über die Verteilung der *Galba truncatula*-Funde auf die einzelnen Felduntersuchungsdaten sowie potenziellen Habitate.

Bei separater Betrachtung der beiden Jahre der Felduntersuchung fällt auf, dass sich die Gesamtanzahl der quantifizierten Schnecken mit 97 im Jahre 2015 und 99 derer

im Jahre 2016 kaum unterscheidet. Dennoch lassen sich deutliche Unterschiede im zeitlichen Verlauf der Schneckenzahlen der beiden Jahre erkennen. Diese sind den Abbildungen 11 und 12 zu entnehmen.

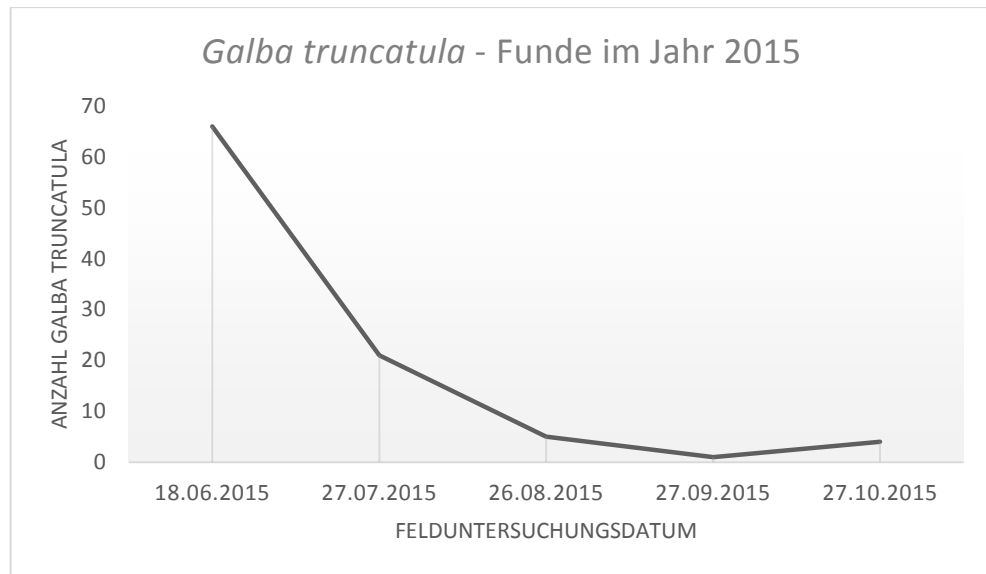


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der Schneckenfunde des Jahres 2015

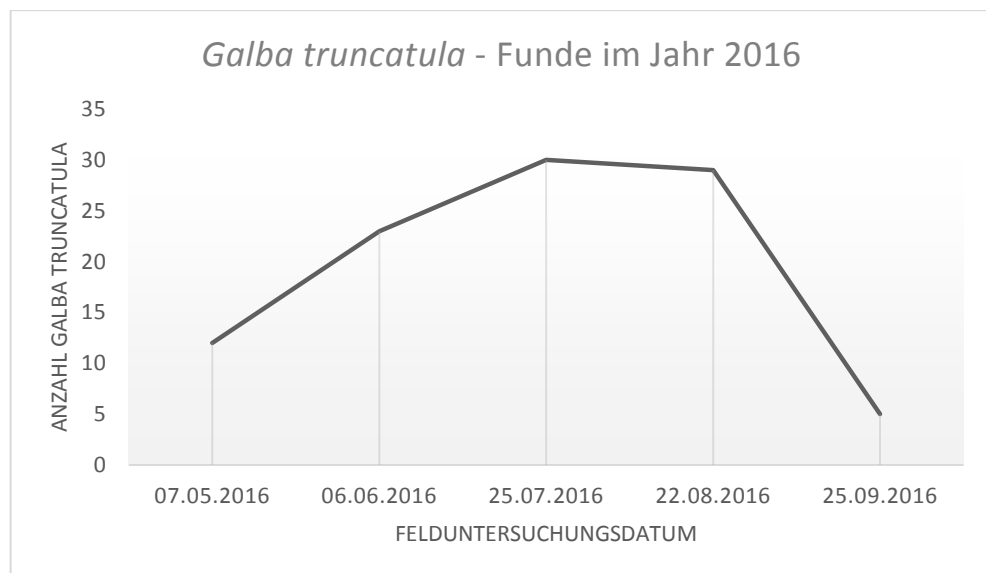


Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der Schneckenfunde des Jahres 2016

2. Mittels *glmmLasso* ermittelte Wahrscheinlichkeiten

Die Wahrscheinlichkeiten Zwergschlammschnecken zu finden wurden mittels des *glmmLasso*-Modells für 95 Rasterfelder zu zehn unterschiedlichen Zeitpunkten berechnet. Somit ergaben sich 950 Wahrscheinlichkeitsangaben mit Werten zwischen 0,1 und 1,0. Sämtliche Werte sind der Tabelle 18 des Anhangs zu entnehmen.

Die niedrigsten Wahrscheinlichkeiten errechnete das Modell für die Rasterfelder 1-24 am 07.05.2016, die höchste für das Rasterfeld 49 am 18.06.2015.

3. Erstellte Risikokarten

Wie bereits erwähnt, wurden insgesamt elf Risikokarten erstellt, eine zu jedem Felduntersuchungsdatum und eine Mediankarte, die den gesamten Zeitraum der Felduntersuchungen abbildet. Zwischen den Karten sind deutliche Unterschiede zu erkennen, es fallen aber auch Gemeinsamkeiten auf.

Die Karte, die zum 18.06.2015 angefertigt wurde, sticht heraus, da alle 95 Rasterfelder rot eingefärbt sind und somit dem gesamten Untersuchungsgebiet ein hohes Risiko zugewiesen wurde. Andere Karten unterteilen das Untersuchungsgebiet in mittleres und hohes Risiko, wohingegen wieder andere Karten alle drei Risikokategorien enthalten.

Allen elf Karten ist gemeinsam, dass der niedrig gelegene Teil des Untersuchungsgebietes ein höheres Risiko aufweist als der höher gelegene Teil. Der Großteil der Felder, die dem niedrigeren Teil zuzuordnen sind, sind in der Gesamtheit der Karten rot eingefärbt. Die Abbildungen 13 bis 23 zeigen die elf erstellten Risikokarten.

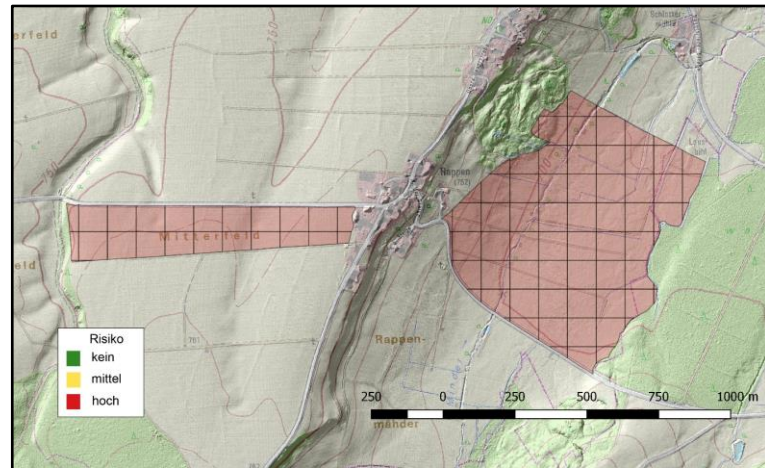


Abbildung 13: Risikokarte zum 18.06.2015

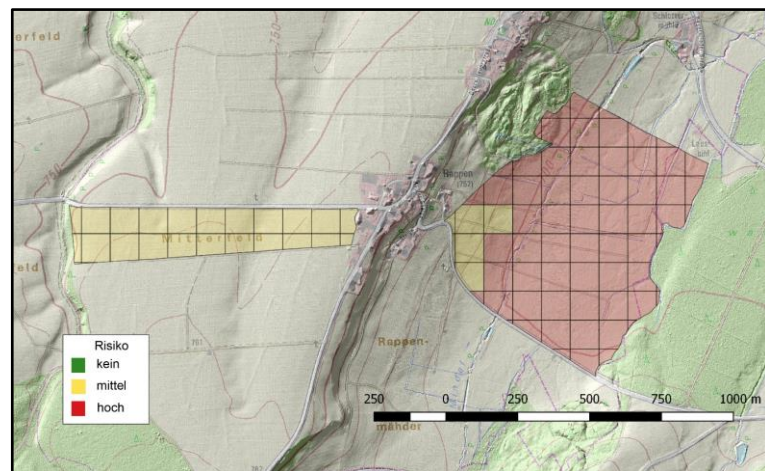


Abbildung 14: Risikokarte zum 27.07.2015

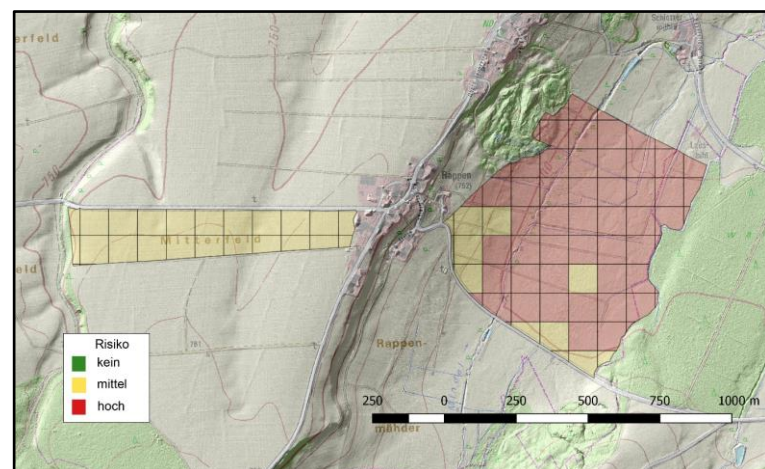


Abbildung 15: Risikokarte zum 26.08.2015

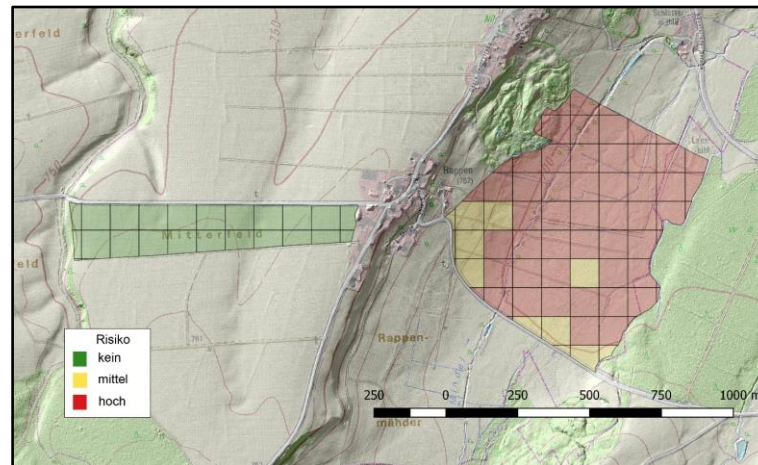


Abbildung 16: Risikokarte zum 27.09.2015

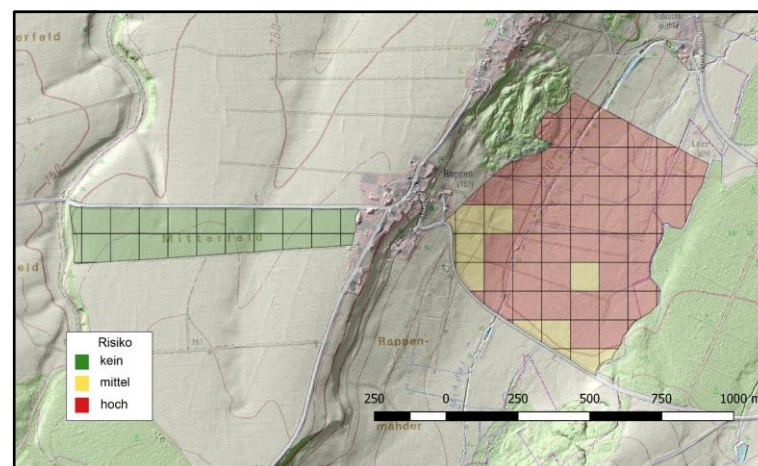


Abbildung 17: Risikokarte zum 27.10.2015

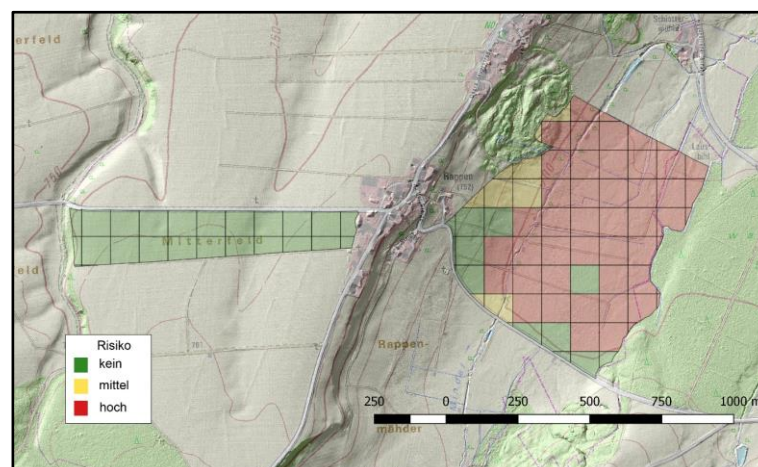


Abbildung 18: Risikokarte zum 07.05.2016

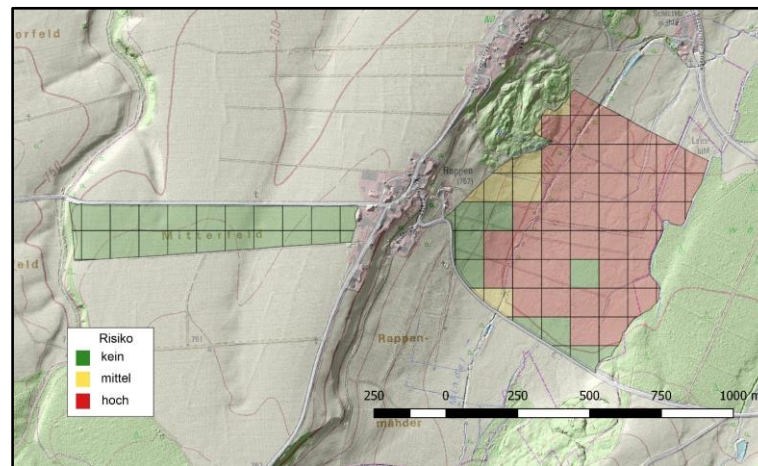


Abbildung 19: Risikokarte zum 06.06.2016

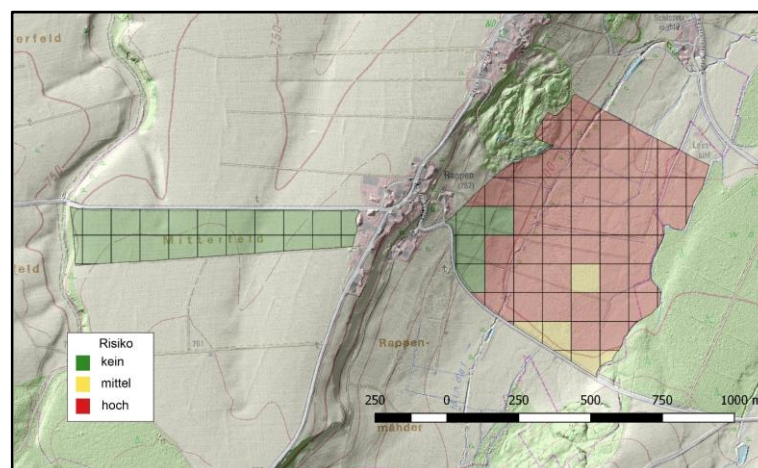


Abbildung 20: Risikokarte zum 25.07.2016

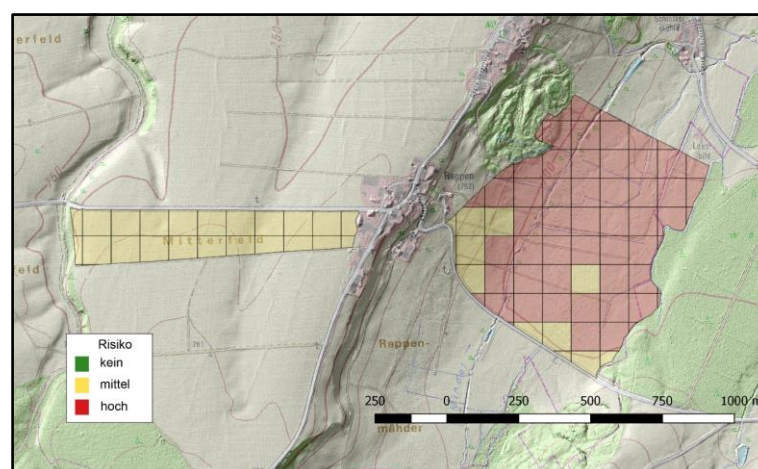


Abbildung 21: Risikokarte zum 22.08.2016

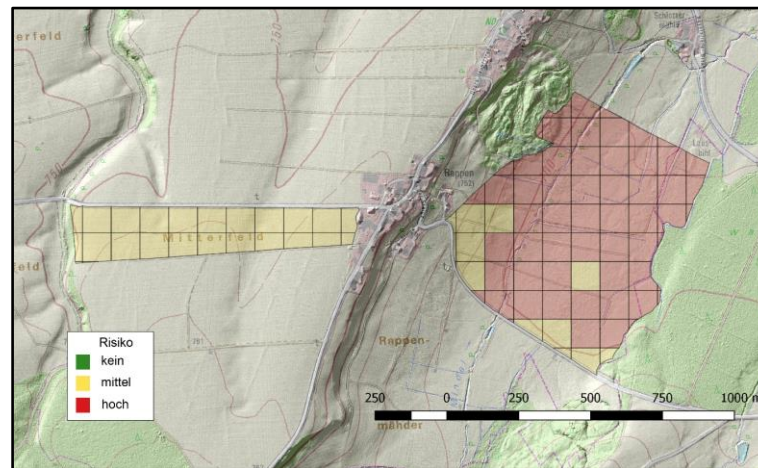


Abbildung 22: Risikokarte zum 25.09.2016

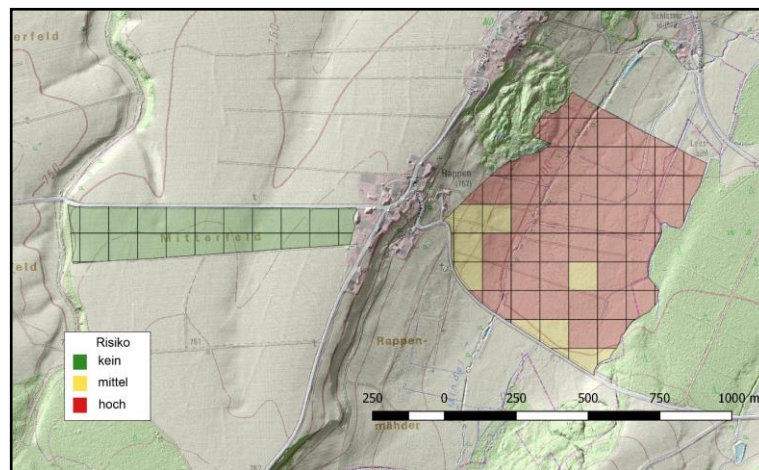


Abbildung 23: Mediankarte

Tabelle 7 verschafft einen Überblick über die Anzahl der Felder pro Risikokategorie und Datum.

Tabelle 7: Übersicht über die Anzahl der Felder pro Risikokategorie und Felduntersuchungsdatum

	Risikokategorie			Gesamt
	0	1	2	
18.06.2015	0	0	95	95
27.07.2015	0	31	64	95
26.08.2015	0	37	58	95
27.09.2015	24	13	58	95
27.10.2015	24	13	58	95
07.05.2016	37	10	48	95
06.06.2016	37	10	48	95
25.07.2016	31	6	58	95
22.08.2016	0	37	58	95
25.09.2016	0	37	58	95
Mediankarte	24	13	58	95
	177	207	661	1045
	17 %	20 %	63 %	100 %

4. Validierung der Karten

4.1. Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktive Werte

Zur Validierung der Karten wurden Sensitivität und Spezifität sowie positiv und negativ prädiktive Werte berechnet. In der ersten Variante wurden alle auswertbaren Rasterfelder als korrekt positiv bewertet, wenn sie der Risikogruppe 1 oder 2 zugeteilt wurden. Rasterfelder ohne Schneckenfunde sollten folglich die Risikokategorie 0 aufweisen. Die berechneten Werte sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Errechnete Werte von Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktiven Werten pro Felduntersuchungsdatum nach Variante 1

	Sensitivität	Spezifität	Positiv prädiktiver Wert	Negativ prädiktiver Wert
18.06.2015	100 %	0 %	40 %	0 %
27.07.2015	100 %	0 %	28 %	0 %
26.08.2015	100 %	0 %	28 %	0 %
27.09.2015	100 %	48 %	24 %	100 %
27.10.2015	100 %	43 %	6 %	100 %
07.05.2016	100 %	72 %	56 %	100 %
06.06.2016	100 %	72 %	56 %	100 %
25.07.2016	100 %	86 %	82 %	100 %
22.08.2016	100 %	0 %	26 %	0 %
25.09.2016	100 %	0 %	3 %	0 %
Median	100 %	71 %	71 %	100 %

In einer zweiten Variante wurden diejenigen Rasterfelder als korrekt positiv gewertet, die in Risikokategorie 2 lagen. Rasterfelder ohne Schneckenfunde sollten hierbei dementsprechend der Risikokategorie 0 oder 1 zugeteilt sein. Tabelle 9 zeigt die entsprechenden Werte.

Tabelle 9: Errechnete Werte von Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktiven Werten pro Felduntersuchungsdatum nach Variante 2

	Sensitivität	Spezifität	Positiv prädiktiver Wert	Negativ prädiktiver Wert
18.06.2015	100 %	0 %	40 %	0 %
27.07.2015	100 %	71 %	57 %	100 %
26.08.2015	100 %	74 %	60 %	100 %
27.09.2015	100 %	63 %	33 %	100 %
27.10.2015	100 %	57 %	8 %	100 %
07.05.2016	100 %	77 %	60 %	100 %
06.06.2016	100 %	77 %	60 %	100 %
25.07.2016	100 %	89 %	85 %	100 %
22.08.2016	100 %	74 %	56 %	100 %
25.09.2016	100 %	55 %	7 %	100 %
Median	100 %	91 %	89 %	100 %

4.2. Korrelation und Signifikanztest

Um den Zusammenhang zwischen den beiden Variablen „Anzahl der Schnecken“ und „Mediane Wahrscheinlichkeit“ zu ermitteln, wurde eine Korrelationsstudie durchgeführt. Zu diesem Zwecke wurde der Rangkorrelationskoeffizient

Spearman's Rho berechnet. Die Berechnung erfolgte mittels der KORREL-Funktion von Excel 2013 und ergab einen Wert von $\rho = 0,58$. Dieser Wert wurde nach der in Tabelle 10 ersichtlichen Einteilung eingestuft. Somit stellt ein ρ von 0,58 einen hohen Zusammenhang dar.

Tabelle 10: Einteilung für die Interpretation der Stärke des Zusammenhangs nach Berechnung von „Rho“

Betrag von r	Stärke des Zusammenhangs
$0,00 \leq r < 0,10$	kein Zusammenhang
$0,10 \leq r < 0,30$	geringer Zusammenhang
$0,30 \leq r < 0,50$	mittlerer Zusammenhang
$0,50 \leq r < 0,70$	hoher Zusammenhang
$0,70 \leq r < 1,00$	sehr hoher Zusammenhang

Der im Anschluss durchgeführte Signifikanztest ergab einen p-Wert von 0,000133.

V. DISKUSSION

Die vorliegende Arbeit diene der Überprüfung eines kürzlich entwickelten mathematischen Modells, das die Wahrscheinlichkeit berechnet, an einem bestimmten Ort Zwergschlamm Schnecken anzutreffen. Ein funktionierendes Modell kann als Grundlage für eine kartographische Darstellung von Fascioloserisikogebieten dienen. Mittels des zu überprüfenden *glmmLasso*-Modells wurden elf Risikokarten eines kleinen Gebietes angefertigt und diese anschließend validiert. Im Folgenden werden zunächst kurz die Stärken und Schwächen des zugrundeliegenden Modells aufgegriffen, um dem Leser einen vollständigen Einblick zu ermöglichen. Im Weiteren wird auf die Schwierigkeiten bei der Erarbeitung des Datensatzes eingegangen. Abschließend folgen eine kritische Auseinandersetzung mit den ermittelten Ergebnissen dieser Arbeit und aus diesen abgeleitete Rückschlüsse und Empfehlungen zur Anwendbarkeit des überprüften Modells.

1. Stärken und Schwächen des zugrundeliegenden mathematischen Modells

In ihrer Dissertation kommt Frau Dr. Anne Röbler zu dem Schluss, dass sich beide von ihr ausgewählten Modellierungsverfahren zur Vorhersage des Vorkommens von *Galba truncatula* eignen (RÖBLER, 2016). Im Vergleich zu anderen Modellen (OLLERENSHAW, 1966), können deutlich detailliertere Zusammenhänge zwischen potenziellen Kovariablen und dem Vorkommen von Zwergschlamm Schnecken untersucht werden.

Das in dieser Arbeit ausgewählte *glmmLasso*-Modell birgt den Vorteil, dass es mit einer geringeren Anzahl an Kovariablen als das *grplasso*-Modell auskommt. Somit empfiehlt es sich für die Anwendung auf andere Länder, deren Möglichkeiten des Datenbezuges differieren. Des Weiteren ist dieses Modell in der Lage so genannte *random effects* mit einzubeziehen. Darunter sind spezielle, nicht messbare Charakteristika der jeweiligen Orte zu verstehen. Allerdings sind diese Effekte für den Untersucher neuer Daten nicht bekannt und müssen somit im Modell auf den Erwartungswert 0 gesetzt werden, obwohl sie einen nachgewiesenermaßen

beträchtlichen Einfluss ausüben können.

Eine Schwäche beider Modelle ist das Unvermögen mit lückenhaften Datensätzen umzugehen. Dies musste zum Ausschluss mehrerer potenzieller Kovariablen aus dem Modellansatz führen.

Neben den eben aufgeführten Anfälligkeiten des gewählten Modellierungsverfahrens, bemerkte RÖBLER (2016) auch Schwächen bei der Datenerhebung. Im zugrundeliegenden Datensatz waren bestimmte Nutzungsflächen überrepräsentativ vertreten. Des Weiteren wurden potenzielle Habitate ohne Schneckenfund ausgeschlossen und es wurden keine taggenauen Datumsangaben zu Schneckenfunden aufgeführt. Fehlende Angaben zur Bodeneignungskarte sowie die Tatsache, dass das Modell ausschließlich auf Standorten im Nordosten der Schweiz basiert, sind weitere Schwächen des Datensatzes. Diese deuten möglicherweise auf eine unzureichende Repräsentativität des Modells hin. Genauere Ausführungen hierzu beschreibt RÖBLER (2016).

2. Datensatz

Die Anwendung des *glmmLasso*-Modells erforderte das Zusammentragen von Daten zu insgesamt 13 Kovariablen. Diese unterteilen sich in gelände- und bodenabhängige Kovariablen sowie Temperaturvariablen. Der folgende Abschnitt befasst sich mit der Methodik des Datenbezugs und den sich daraus ergebenden möglichen Schwächen des Datensatzes. Außerdem wird auf die Anwendbarkeit des Modells auf ein größeres Untersuchungsgebiet mit Anfertigung einer Risikokarte dieses Gebietes, welche ein wichtiges Hilfsmittel bei der Bekämpfung der Fasciolose darstellen könnte, eingegangen.

2.1. Gelände- und bodenabhängige Einflussgrößen

2.1.1. Geländeabhängige Einflussgrößen

2.1.1.1. Riet, Feuchtflächen, Gewässer im Umkreis von 100 m, Hangwasseraustritt

In beiden von Frau Dr. Rößler entwickelten Modellen wurden *Riet*, *Feuchtflächen*, *Gewässer im Umkreis von 100 m* und *Hangwasseraustrittsstellen* als Kovariablen mit den stärksten Einflüssen auf das Vorkommen von *Galba truncatula* ausgewählt. Dies unterstreicht die Empfehlung von Frau Dr. Baggenstos in zukünftigen Modellen Primärhabitats wie kleine Bachläufe, Hangwasseraustrittsstellen und permanente Feuchtgebiete mit einzubeziehen (BAGGENSTOS et al., 2016). Bisherige Modelle stützten sich zumeist auf Klimavariablen (OLLERENSHAW und ROWLANDS, 1959; MCILROY et al., 1990; YILMA und MALONE, 1998), sowie Angaben zu Bodenbedingungen (RAPSCH et al., 2008; MCCANN et al., 2010), wobei die angesprochenen Primärhabitats nicht oder nur näherungsweise berücksichtigt werden konnten. Aus vielen Felduntersuchungen und Studien ist aber bekannt, dass Zwergschlammschnecken vor allem in langsam fließenden Bachläufen (MEHL, 1932a), Teichen und Sümpfen (RONDELAUD et al., 2011) sowie in Versickerungen an Hanglagen (PULLAN et al., 1972) in größeren Mengen vorkommen. Somit sollten zukünftige Modelle entsprechende Variablen einplanen.

Im vorliegenden Projekt wurden die Angaben zu den Kovariablen *Riet*, *Feuchtflächen* und *Gewässer im Umkreis von 100 m* anhand von Feldbegehungen und mittels des digitalen Orthophotos sowie der digitalen Ortskarte 1:10.000 des Landesamtes für Digitalisierung, Breitband und Vermessung bestimmt. Beide verwendeten Hilfsmittel zeichnen sich durch eine hohe Lagegenauigkeit und Auflösung aus (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG). Die Variable *Hangwasseraustritt* wurde mittels Feldbegehungen beurteilt.

Mit der Kovariablen *Gewässer im Umkreis von 100 m* werden auch Flüsse im Modell berücksichtigt, die sich bekanntermaßen nicht als Habitat für Zwergschlammschnecken eignen, da ihre Fließgeschwindigkeit zu hoch ist (MEHL, 1932a). Einen lückenlosen Datensatz zu den Fließgeschwindigkeiten bayerischer Flüsse und Bäche gibt es allerdings nicht. Somit ist diesbezüglich keine Verbesserung möglich. Des Weiteren fand die Bestimmung der Kovariablen *Riet*, *Feuchtflächen* und *Hangwasseraustritt* in Ermangelung einer entsprechenden

Datenquelle hauptsächlich mittels Feldbegehungen statt. Nach Ansicht der Untersucherin ist es nicht möglich allein auf Basis des digitalen Orthophotos oder auch der Luftbildfunktion des Bayernatlas‘ (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG) eine sichere Aussage darüber zu treffen, ob sich auf einem bestimmten Gebiet Feuchtflächen oder Hangwasseraustrittsstellen befinden. Um anhand des *glmmLasso*-Modells eine Risikokarte von Bayern oder eines anderen großflächigeren Gebietes zu erstellen, müssten daher aufwendige Felduntersuchungen durchgeführt oder technische Hilfsmittel wie beispielsweise Drohnen verwendet werden.

2.1.1.2. Bäume und Sträucher

Nur in wenigen Modellen fand bisher die Präsenz von Wald oder einzelnen Baumbeständen Eingang. Beide Modelle von Frau Dr. Rößler wählten allerdings die Variable *Bäume/Sträucher* als einflussreichen Parameter aus, der das Vorhandensein von Zwergschlammschnecken begünstigt. Daher liegt die Schlussfolgerung nahe, dass die bisherige Annahme, Wald übe einen negativen Einfluss auf das Vorkommen von *Galba truncatula* aus (PETZOLD, 1989a), dazu im Gegensatz steht. Dies ist jedoch nicht der Fall. Das Vorhandensein von Wald verhindert durch zu geringe Sonneneinstrahlung das Wachstum von Algen, die der Schnecke als Nahrungsgrundlage dienen (TAYLOR, 1964). Einzelne Bäume bieten den Schnecken hingegen einen Schutz vor Austrocknung und direkter Sonneneinstrahlung und wirken sich somit positiv auf das Vorkommen der Schnecken aus, ohne dabei ihre Nahrungsgrundlage anzugreifen (RÖßLER, 2016).

Die Beurteilung dieser Kovariablen und ihr Eingang in den Datensatz erfolgte mittels des bereits erwähnten digitalen Orthophotos des Landesamtes für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2015) sowie mittels der Luftbildfunktion des Bayernatlas‘ (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG). Mit Hilfe der Luftbildfunktion lassen sich einzelne Bäume oder Baumgruppen sehr gut identifizieren und lokalisieren.

2.1.2. Bodenabhängige Einflussgrößen

Der Einfluss des Bodens mit seiner Vielzahl an Eigenschaften und somit auch auswählbaren Parametern für das Vorkommen der Zwergschlammschnecke ist seit langem bekannt. So fließen in viele mathematische Modelle unterschiedliche Bodenparameter ein, die einerseits negativ, andererseits positiv mit dem Auftreten

von *Galba truncatula* verbunden sind. Zu diesen Bodenparametern zählen beispielsweise der pH-Wert und der Bodentyp (MALONE et al., 1998), die im Boden enthaltenen Elemente (MCCANN et al., 2010; NOVOBILSKÝ et al., 2015) oder auch ein eigens definierter Bodenindex (ZUKOWSKI et al., 1991). Zum Teil liefern die bisher durchgeführten Studien widersprüchliche Ergebnisse und es besteht weiterer Forschungsbedarf bezüglich des Einflusses der vielzähligen Bodenparameter. Genauer nachzulesen sind mögliche Einflüsse beispielsweise in Studien von NOVOBILSKÝ et al. (2015), MEHL (1932a) und MCCANN et al. (2010).

2.1.2.1. Gründigkeit

Das *glmm-Lasso*-Modell von Frau Dr. Rößler wählte aus 24 boden- und geländeabhängigen Kovariablen zwei bodenabhängige Variablen aus, die einen nachweisbaren Einfluss auf die Zwergschlammschnecken ausüben (RÖßLER, 2016). Diese zwei Kovariablen sind die *Gründigkeit* und das *Wasserspeichervermögen* des Bodens. Die Gründigkeitsstufe *tiefe Gründigkeit* zeichnet sich dabei durch einen schwach negativen Effekt auf die Wahrscheinlichkeit, Zwergschlammschnecken anzutreffen, aus.

Im Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit sind nach deutscher Klassifizierung zwei Gründigkeitsstufen vorhanden. Es handelt sich hierbei um die Wp 4, eine *tiefe Gründigkeit* und die Wp 5, eine *sehr tiefe Gründigkeit*. Die deutsche Variante der Klassifizierung ist nicht deckungsgleich mit der schweizerischen Variante und somit kann die Wp 4 sowohl der *mittleren Gründigkeit* als auch der *tiefen Gründigkeit* nach schweizerischer Klassifikation zugeteilt werden. Da eine höhere Deckungsgleichheit mit der Klasse *tiefe Gründigkeit* besteht, wurde die Wp 4 mit der *tiefen Gründigkeit* der Schweiz gleichgesetzt. Um auszuschließen, dass die aus dem Modell berechnete Wahrscheinlichkeit aufgrund der unterschiedlichen Einstufungsverfahren der beiden Länder nicht repräsentativ ist, wurde ein zweiter Datensatz erstellt, in welchem die Wp 4 der *mittleren Gründigkeit* zugeteilt wurde. Die errechneten Wahrscheinlichkeiten sind dabei maximal um 2,7 % niedriger beziehungsweise um 4,1 % höher. Im Median ist die errechnete Wahrscheinlichkeit bei Einsatz der Wp4 als *mittlere Gründigkeit* um 0,96 % niedriger. Die Auswirkungen der differierenden Klassifizierungsmethoden im Falle der Gründigkeit sind folglich als gering einzustufen.

2.1.2.2. Wasserspeichervermögen

Als zweite bodenabhängige Variable wählte das *glmmLasso*-Modell das *Wasserspeichervermögen* aus. Dessen Kategorie „sehr gut“ übt einen schwach negativen und die Kategorie „mäßig“ einen verschwindend gering positiven Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit Zwergschlammschnecken anzutreffen aus.

Wie bereits erwähnt, ist der Begriff des Wasserspeichervermögens kein geläufiger Begriff der deutschen Bodenkunde. Dafür kann auf die *nutzbare Feldkapazität* des Bodens zurückgegriffen werden. Allerdings sind die Werte der nutzbaren Feldkapazität nicht mit den Werten des *Wasserspeichervermögens* gleichzusetzen. Dies liegt vor allem daran, dass die verschiedenen Begriffe sich auf einen unterschiedlichen pF-Bereich beziehen. Der pF-Wert entspricht dem logarithmierten Wert des Betrages des Matrixpotentials des Bodens. Dieses gibt an, wie stark Wasser im Boden gebunden ist und ist abhängig von Körnung und Gefüge des Bodens (SCHEFFER et al., 2010). Das *Wasserspeichervermögen* bezieht sich auf den pF-Bereich 2 - 3, welcher kein Standardbereich der Deutschen Bodenkunde ist. Für die *nutzbare Feldkapazität* sind Werte im pF-Bereich von 1,8 - 4,2 oder 2,5 - 4,2 vorliegend. Die unterschiedlichen pF-Bereiche führen dazu, dass die deutschen Werte der *nutzbaren Feldkapazität* im Vergleich höher sind als die Werte des *Wasserspeichervermögens*, da dem Boden mit einer höheren Saugspannung mehr Wasser entzogen werden kann. Somit sind die berechneten Zahlen nicht direkt miteinander vergleichbar. Auch eine Umrechnung mittels eines einheitlichen Faktors wird der Realität unter Umständen nicht gerecht wie es sich in Versuchen diesbezüglich zeigte (REMUND und CATTIN, 2013).

Für das vorliegende Modell wurden die Werte zur nutzbaren Feldkapazität für den pF-Bereich 2,5 – 4,2 vom Bayerischen Landesamt für Umwelt auf Basis des Modellprofils des Bodens berechnet. Sie sind der Tabelle 13 des Anhangs zu entnehmen. Als Grundlage diente die Übersichts-Bodenkarte 1:25.000 des Bayerischen Landesamtes für Umwelt. Die errechneten Werte wurden anschließend nicht direkt in die schweizerische Klassifikation eingesetzt, da die deutschen Zahlen die Schweizer Zahlen etwas überschätzen. Stattdessen fand eine „verbale Übersetzung“ statt. Ein errechneter Wert der nutzbaren Feldkapazität wurde also nach deutscher Einteilung klassifiziert, den Stufenbezeichnungen „sehr gering“, „gering“, „mittel“, „hoch“, „sehr hoch“ zugeordnet und anschließend mit den schweizerischen Stufenbezeichnungen „sehr gering“, „gering“, „mäßig“, „gut“,

„sehr gut“ übersetzt. Es bleibt eine gewisse Unsicherheit bezüglich der Bewertung des Wasserspeichervermögens aufgrund der Unterschiede der beiden Klassifizierungsverfahren bestehen. Die gewählte Methode sollte die geforderten Daten dennoch in bestmöglicher Vergleichbarkeit liefern.

2.2. Temperaturvariablen

Frau Dr. Rößler untersuchte in ihrer Arbeit den Einfluss von insgesamt 70 gelände-, boden- und klimaabhängigen Kovariablen. Davon zählen 48 Kovariablen zu den Klimavariablen, die sich sowohl in Niederschlags- als auch Temperaturparameter aufteilen. Gegenüber anderen Studien zeichnen sich die ausgewählten Klimavariablen zum einen dadurch aus, dass die Parameter in ihrer feinst möglichen Granularität erfasst wurden. Schon MALONE et al. (1998) zogen nach der Entwicklung eines Modells für Ostafrika den Schluss, dass in Zukunft genauere Angaben als durchschnittliche Monatswerte von Nöten seien. Dadurch können auch Extremwerte wie Hitze- oder Eistage in das Modell einfließen und auf ihre Auswirkungen hin untersucht werden. Zum anderen wurden die Klimavariablen für einen Zeitraum von drei Jahren vor der Felduntersuchung konstruiert, um sicherzugehen, dass ein vollständiger Schneckenzyklus berücksichtigt werden kann. In vorangegangenen Studien wurden zumeist Klimadaten aus einem Jahr beachtet (KANTZOURA et al., 2011; SELEMETAS et al., 2015). Eine Ausnahme stellt eine Studie aus England und Wales (MCCANN et al., 2010) dar, in welcher auch Klimavariablen aus den vorangegangenen fünf Jahren bedacht wurden. Tatsächlich zeigte sich in dieser Studie, dass die Niederschlagssummen aus den fünf Jahren vor Felduntersuchung besser geeignet waren das Fascioloserisiko vorherzusagen als die Niederschlagssumme aus dem Jahr der Felduntersuchung. Des Weiteren untersuchte Frau Dr. Rößler in ihrer Studie sowohl den Einfluss der bei 2 m Höhe gemessenen Temperaturen als auch der bei 5 cm über dem Boden gemessenen Temperaturen.

Das *glmmLasso*-Modell wählte ausschließlich Klimavariablen als bedeutend für das Vorkommen der Zwergschlammschnecken aus, die zu den Temperaturvariablen zählen. Bemerkenswert bei der Auswahl der Variablen ist außerdem, dass es sich ausschließlich um Variablen handelt, die Extremwerte abbilden, sowie, dass sowohl die bei 2 m gemessenen als auch die bei 5 cm gemessenen Temperaturvariablen vertreten sind. Somit sollten bodennah gemessene Parameter in nachfolgenden Projekten nicht vernachlässigt werden. Alle

einflussreichen Variablen sind negative Prädiktoren und limitieren das Vorkommen von *Galba truncatula*.

Wie bereits erwähnt, trat bei der Beschaffung der notwendigen Temperaturvariablen das Problem auf, dass die dem Untersuchungsgebiet nächstgelegene Wetterstation „Kaufbeuren“ für den Untersuchungszeitraum keinen lückenlosen Datensatz liefern konnte, da im Mai 2016 eine Verlegung der Station stattfand. Um einen lückenlosen und realistischen Temperaturdatensatz zu erhalten, wurde auf die Methodik der Interpolation zurückgegriffen.

Die Temperaturangaben wurden vom Deutschen Wetterdienst bezogen, der alle Daten einer intensiven Qualitätskontrolle unterzieht (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2015).

Das ausgewählte Interpolationsverfahren ist eine Kombination aus zwei verschiedenen Verfahren, einer einfachen linearen Höhenregression und dem Inverse Distance Weight Verfahren. Diese Kombination wurde für das Bundesland Baden-Württemberg in einer Diplomarbeit für verschiedene Klimaparamater (unter anderem die Lufttemperatur) angewendet und überprüft (NIEDERBERGER, 2000). Es handelt sich bei beiden Methoden um vielfach verwendete Standardverfahren, die auch vom Deutschen Wetterdienst angewendet werden. Wie jedes Verfahren zeigt auch dieses Schwächen, die vor allem auf Anfälligkeiten des Inverse Distance Weight Verfahrens beruhen. In vorliegendem Fall konnten diese Schwächen allerdings weitestgehend ausgeglichen werden. Beispielsweise wurde nur eine bestimmte Anzahl an Wetterstationen, die eine möglichst geringe Distanz (maximal 44,4 km) zum Untersuchungsgebiet aufwiesen, zur Interpolation herangezogen. Außerdem wurde auf eine homogene Verteilung der Wetterstationen um das Untersuchungsgebiet geachtet, da eine inhomogene Verteilung dazu führen würde, dass dichter belegte Areale einen größeren Einfluss auf den interpolierten Wert ausüben würden. Somit konnte dieser Fehler vermieden werden. Die Kombination der beiden Interpolationsverfahren führt zusätzlich zur Kompensation der Schwachpunkte der einzelnen Verfahren.

Für die Interpolation wurden die Stationen „Neuburg/Kammel-Langenhaslach“, „Kaufbeuren“, „Memmingen“ und „Kempten“ ausgewählt. Sie sind jeweils Messstationen des Deutschen Wetterdienstes und ihre Werte können über das Portal Weste-XL abgerufen werden (WETTERDIENST, 2017). Für jeden Tagesschritt

wurde die Vollständigkeit der Daten zu den geforderten sieben Temperaturvariablen geprüft. Bei fehlenden Werten wurde die Station durch eine andere Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes, die eine möglichst ähnliche Entfernung und Richtung zum Untersuchungsgebiet aufwies, ersetzt. Somit wurden insgesamt Temperaturdaten von neun verschiedenen Wetterstationen bezogen und ein lückenloser Datensatz mit hohem Realitätsbezug garantiert.

3. Durchführung der Felduntersuchungen und Validierung der Risikokarten

Die zur Validierung der erstellten Karten nötigen Felduntersuchungen fanden monatlich im Zeitraum vom 18.06.2015-25.09.2016 statt, wobei in den Wintermonaten keine Feldbegehungen erfolgten. Insgesamt konnten so während zehn Felduntersuchungen potenzielle Habitate auf das Vorhandensein von Zwergschlammschnecken untersucht werden. Diese potenziellen Habitate wurden im Vorfeld bei einer Erstbegehung des Untersuchungsgebietes am 29.11.2014 ausgewählt. Die Auswahl erfolgte nicht nach dem Zufallsprinzip, sondern aufgrund der Kenntnis der Vorlieben von Zwergschlammschnecken für seichte Bachläufe (MEHL, 1932a), Hangwasseraustrittsstellen (PULLAN et al., 1972), Trittsiegeln (KNUBBEN-SCHWEIZER et al., 2011) und aufgrund des Vorhandenseins von Indikatorpflanzen wie Binse (RONDELAUD et al., 2011). Bei jeder Feldbegehung wurde jedes der fünf potenziellen Habitate standardisiert 30 Minuten lang auf das Vorkommen von *Galba truncatula* überprüft. Außerdem wurden jeweils Aufzeichnungen zur Wetterlage, der Bodenfeuchtigkeit sowie zur Beschaffenheit der einzelnen potenziellen Habitate geführt. Dazu zählten beispielsweise der Bewuchs, das Vorkommen von Indikatorpflanzen, die Geschwindigkeit und die Menge des von Gräben geführten Wassers, das Vorhandensein anderer Schneckenarten und deren Identifikation, wie auch der Schwierigkeitsgrad der Durchführung der Felduntersuchung. Aufgrund wiederholter Untersuchungen der einzelnen potenziellen Schneckenfundorte können Unsicherheiten bezüglich der Zuordnung eines potenziellen Habitats als tatsächliches Habitat weitestgehend ausgeschlossen werden. Werden bei einer einmaligen Untersuchung eines eventuellen und passend erscheinenden Habitats keine Zwergschlammschnecken gefunden, bleiben Bedenken bestehen, ob nicht zu einem anderen Zeitpunkt

Schnecken gefunden worden wären. Wie die vorliegende Studie zeigt, sind diese Zweifel berechtigt. An allen Habitaten, mit Ausnahme des potenziellen Fundortes V, gab es auch Untersuchungszeitpunkte, an denen keine Schnecken gefunden wurden, obwohl sie zu anderen Begehungen anzutreffen waren. Somit konnten die betreffenden Gebiete dennoch klar als Habitate identifiziert werden.

Um eine Validierung durchführen zu können, war es auch nötig, Felder der Karte als sicher negativ einstufen zu können. Obwohl diese Felder nicht zu jedem Felduntersuchungszeitpunkt für 30 Minuten lang untersucht wurden, ist aufgrund der guten Kenntnis des Gebietes sowie der Lebensbedingungen der Zwergschlammschnecke davon auszugehen, dass diese Felder tatsächlich keine Habitate für *Galba truncatula* aufweisen. Areale beziehungsweise Rasterfelder der Karte, die nicht sicher beurteilt werden konnten, flossen nicht in die Validierung mit ein. Insgesamt konnten 58 von 95 Rasterfeldern zur Berechnung der Sensitivität, Spezifität und des positiv bzw. negativ prädiktiven Wertes herangezogen werden. Für die Korrelationsanalyse blieben 38 beurteilbare Rasterfelder.

4. Design der Risikokarten

Angelehnt an die Empfehlung von Frau Dr. Baggenstos (BAGGENSTOS et al., 2016), die in ihrer Dissertationsarbeit die interaktive Karte der Schweiz (RAPSCH et al., 2008) validierte, wurden in diesem Projekt die Risikokategorien auf drei Klassen (kein Risiko/mittleres Risiko/hohes Risiko) dezimiert. Diese sollten das Risiko ausreichend darstellen und dem Betrachter die vorhandenen Bedingungen realistisch abbilden. RAPSCH et al. (2008) verwendeten in ihrer Arbeit sechs Risikokategorien (kein Risiko/sehr geringes Risiko/geringes Risiko/mittleres Risiko/hohes Risiko/sehr hohes Risiko). Im Vergleich zu anderen Arbeiten, die Risikokarten erstellten, scheint dies eine recht hohe Anzahl zu sein. Beispielsweise beschränkten sich TUM et al. (2004) und HALIMI et al. (2015) auf je vier Risikoklassen.

Das von RAPSCH et al. (2008) angewendete Raster von 100 m x 100 m wurde allerdings entgegen einer weiteren Empfehlung von BAGGENSTOS et al. (2016) auch in diesem Projekt herangezogen. BAGGENSTOS et al. (2016) erhofften sich

durch eine Verkleinerung des Rasters eine detailliertere Auflösung der Karte und somit auch die Möglichkeit kleinere Habitate abbilden und ausfindig machen zu können. Allerdings muss bedacht werden, dass die Kovariablen, die in das Modell einfließen und somit auch die Risikokategorie des Rasterfeldes bestimmen, zum Großteil nicht detaillierter angegeben werden können. Das hier überprüfte *glmmLasso*-Modell wählte 13 Kovariablen aus. Darunter sind sieben Temperaturvariablen. Diese Temperaturvariablen würden für alle Rasterfelder des Untersuchungsgebietes den gleichen Wert liefern, wäre hier nicht auf die Möglichkeit der Interpolation mittels linearer Höhenregression zurückgegriffen worden. Auch so ergeben sich allerdings nur vereinzelt unterschiedliche Eingangswerte. Da in Bayern laut einer Wetterstationsliste des Deutschen Wetterdienstes (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2018) insgesamt 103 Messstationen für eine Fläche von 70550 km² zur Verfügung stehen, hochgerechnet also eine Messstation auf 685 km², ergibt hinsichtlich der Temperaturvariablen eine Verkleinerung des Rasters keinen Sinn. Die in dieser Arbeit notgedrungen durchgeführte Interpolation führt allerdings zu exakteren Temperaturangaben für das Untersuchungsgebiet als es mithilfe von Werten einer einzelnen Wetterstation möglich wäre. Somit ist es empfehlenswert bei Erstellen einer Risikokarte den nötigen Temperaturdatensatz mittels Interpolation zu erstellen. Ob eine Interpolation tatsächlich umsetzbar ist, müsste im Vorfeld geprüft werden, indem sich ein Überblick über die Stationsdichte verschafft und eine Homogenitätsprüfung der Stationen durchgeführt wird.

Mit Blick auf die gelände- und bodenabhängigen Kovariablen kann unter Anwendung des beschriebenen mathematischen Modells nur bedingt eine detailliertere Auflösung der Risikokarte bei Verkleinerung des Rasters erwartet werden. Bezüglich der Kovariablen *Riet und Feuchtflächen* und *Hangwasseraustritt*, die ausschließlich mittels Feldbegehungen bestimmt werden können, findet nach Ansicht der Untersucherin eine realistische Abbildung der vorhandenen Begebenheiten mittels der hier gewählten Rasterung statt. Eine Verkleinerung würde für die Übertragung des Modells auf weitere Gebiete einen noch größeren zusätzlichen Aufwand bedeuten.

Da die Kovariablen *Gründigkeit* und *Wasserspeichervermögen* vom Profilaufbau des Bodens abhängig sind, können im gesamten Untersuchungsgebiet lediglich je zwei unterschiedliche Klassen ausgemacht werden. Auch eine Verkleinerung des Rasters würde zu keiner zusätzlichen Differenzierung führen.

Die Bewertung der Kovariablen *Bäume und Sträucher* sowie *Gewässer im Umkreis von 100 m* würden von einer Verkleinerung des Rasters allerdings profitieren. In der vorliegenden Arbeit konnte ein einzelner Baum pro Rasterfeld nicht berücksichtigt werden, da sein Einfluss für die positive Bewertung des gesamten Rasterfeldes als zu gering angesehen werden musste. Je kleiner die Rasterung, desto größer würde der Einfluss des Baumes hinsichtlich des betroffenen Feldes. So könnte der positive Einfluss auch eines einzelnen Baumes auf die Zwergschlammschnecke berücksichtigt werden. Auch der Einfluss der Nähe eines Gewässers auf das zu bewertende Rasterfeld könnte mit einer Verkleinerung des Rasters realitätsgetreuer abgebildet werden.

Für das Erstellen einer Risikokarte eines großflächigeren Gebietes ist also nicht unbedingt eine Verkleinerung des in der vorliegenden Arbeit gewählten Rasters nötig. Vielmehr liegt das Problem darin, die entsprechenden Variablen kleinräumig zu erfassen. Bisher sind dazu Felduntersuchungen notwendig, die für ein größeres Gebiet mit einem immensen Aufwand verbunden sind. Der Einsatz von Drohnen oder hochauflösbaren Satellitenbildern könnte hier einen Lösungsansatz darstellen. Die Kosten, die durch den Einsatz solcher Technologien entstehen, sind allerdings für ein großes Gebiet beträchtlich.

5. Anzahl der *Galba truncatula*-Funde

Während des gesamten Zeitraumes der Felduntersuchungen wurden insgesamt zu zehn Zeitpunkten jeweils dieselben fünf potenziellen Habitate für einen Zeitraum von 30 Minuten auf das Vorhandensein von Zwergschlammschnecken überprüft. Die gefundenen Zwergschlammschnecken wurden quantifiziert und anschließend wieder zurückgesetzt. Aufgrund unterschiedlicher Wetterlagen sowie wechselnder Bedingungen betreffend des Bewuchses der verschiedenen Fundorte, war es an manchen Tagen herausfordernder die Untersuchungen durchzuführen als an anderen Tagen. Dies muss bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden.

Außerdem muss bedacht werden, dass es schwierig ist, kleine Vertreter der Gattung *Galba truncatula* von ebensolchen der Gattung *Radix labiata* zu unterscheiden. Allerdings wird auch *Radix labiata* als Zwischenwirt für *Fasciola hepatica* diskutiert (CARON et al., 2007).

Mit 66 Exemplaren wurde im gesamten Zeitraum vom 18.06.2015 bis 25.09.2016 die größte Schneckenanzahl am 18.06.2015 gefunden, hingegen konnten am 27.09.2015 mit nur einer toten Vertreterin die wenigsten Zwergschlammschnecken gezählt werden. Betrachtet man die beiden Jahre 2015 und 2016 getrennt, so stechen 2015 die eben erwähnten Daten heraus. 2016 wurden am 25.07.2016 mit 30 Schnecken die meisten und am 25.09.2016 mit 5 Zwergschlammschnecken die wenigsten Exemplare gefunden. Der zeitliche Verlauf entspricht damit in beiden Jahren nicht den Erwartungen, die man nach Literaturangaben aufbaut. Demnach sollte die Schneckenanzahl im Herbst steigen, da sich die Zwergschlammschnecken in den wärmeren Monaten vermehren (MEHL, 1932a), wie es beispielsweise auch bei einer Studie aus Irland zu beobachten ist (RELF et al., 2011).

Dennoch fallen bei näherer Betrachtung deutliche Unterschiede im zeitlichen Verlauf der Schneckenzahlen der beiden Jahre auf. Es zeigt sich deutlich, dass vor allem das Jahr 2015 nicht den Erwartungen entspricht, während im Jahre 2016 der zeitliche Verlauf bis zum Felduntersuchungszeitpunkt im September durchaus erwartungsgemäß verläuft. Die Schneckenzahlen des Jahres 2015 könnten dadurch erklärt werden, dass der Sommer dieses Jahres besonders heiß war (BECKER et al., 2015). Schon der Mai 2015 zeichnete sich durch deutlich mehr Hitzetage aus als derselbe Monat der Jahre 2014 oder 2016. Dieser Trend zog sich durch den gesamten Sommer 2015 und könnte zum Absterben der Zwergschlammschnecken geführt haben und somit die geringen Schneckenfunde in den Sommermonaten erklären.

Auffallend ist außerdem, dass am potenziellen Fundort V zu keinem Zeitpunkt Zwergschlammschnecken gefunden werden konnten. Diese Tatsache verwundert, da es sich augenscheinlich um ein sehr geeignetes Habitat handelt. Es betrifft eine Hangwasseraustrittsstelle, die zu jedem Untersuchungszeitpunkt feuchte Stellen beinhaltete. Zum Teil handelte es sich nur um einzelne feuchte Stellen, zum Teil um großflächige langsam bergab fließende Wasseransammlungen. Stets war Binse anzutreffen, eine Indikatorpflanze für das Auftreten von *Galba truncatula* (RONDELAUD et al., 2011). Dass dennoch keine einzige Zwergschlammschnecke

anzutreffen war, könnte daran liegen, dass sich die Stelle zumeist durch sehr hohen Grasbewuchs auszeichnete. Dies erschwert einerseits die Untersuchung, andererseits ist dadurch eine geringere Sonneneinstrahlung am Boden vorhanden und der Lebensraum der Zwergschlammschnecke negativ beeinflusst. Außerdem konnten bei den Felduntersuchungen viele andere Schneckenarten, vor allem Vertreter der Arten *Succinea putris* und *Cochlicopa lubrica*, gesammelt werden. Eventuell könnte es auch zu einer Verdrängung der Zwergschlammschnecken durch die vorherrschenden anderen Schnecken gekommen sein. Dies sind jedoch nur Mutmaßungen. Eine stichhaltige Begründung für das Fehlen von *Galba truncatula* an diesem potenziellen Fundort ist nicht ersichtlich.

6. Risikokarten

6.1. Zeitliche Varianz

Die 11 erstellten Risikokarten bilden das Risiko zum Teil sehr unterschiedlich ab. Die Begründung dieser Varianz ist in der Einwirkung der Temperaturvariablen zu finden. Pro Felduntersuchungsdatum und Modellrechnung fließen sieben Temperaturvariablen in das Modell ein und beeinflussen entsprechend das Risiko. Diese Variablen werden jeweils für einen fest definierten Zeitraum bezogen, der pro untersuchtem Datum gleich ist und sich immer auf das Datum der Felduntersuchung bezieht. Somit wirken sich, je nach Zeitpunkt der Felduntersuchung, unterschiedliche Monate, Sommer oder Winter aus.

Bei den erstellten Karten zu den Felduntersuchungsdaten aus dem Jahre 2015 fällt auf, dass sich das Risiko verringert, je später im Jahr der Untersuchungszeitpunkt liegt. So enthält die Karte zum 18.06.2015 ausschließlich Felder der roten Risikokategorie „hoch“, wohingegen die späteste Karte aus diesem Jahre zum Datum des 27.10.2015 Felder aller drei Risikokategorien abbildet. Eine Erklärung dafür ist, dass der Sommer 2015 heißer war als der Sommer 2014. Dies lässt sich anhand der, dem jeweilig neuen Datum geschuldeten Zeitraumveränderung, stetigen Zunahme der Hitzetage sowie warmen Tage, die sich aus den Variablen wie beispielsweise $\text{Temp200mean} > 20 - 1$ ergeben, nachvollziehen. Die betreffenden Variablen sind $\text{Hitzetage} - 1$, $\text{Temp200max} > 30 - 1$, $\text{Temp200mean} > 20 - 1$ und $\text{Temp5mean} > 20 - 1$. Da diese vier Variablen allesamt einen negativen Einfluss auf

das Vorkommen der Zwergschlammschnecke ausüben, verringert sich entsprechend das Risiko mit der Zeit. Diese Beobachtungen unterstreicht ein Bericht des Deutschen Wetterdienstes. Demnach war der Juli 2015 der siebtwärmste Juli seit 1881, der August 2015 der zweitwärmste August seit 1881 und der Sommer 2015 insgesamt der drittwärmste Sommer in Deutschland nach 2003 und 1947 seit 1881. Hohe Temperaturen waren dabei verbunden mit niedrigen Niederschlägen, was wiederum insgesamt zu sehr trockenen Bedingungen in der Landwirtschaft führte (BECKER et al., 2015).

Die erste Risikokarte aus dem Jahre 2016 bildet ein im Gesamten etwas geringeres Risiko ab als die vorangegangene Karte zum 27.10.2015. Dieser Trend zieht sich durch bis zum 06.06.2016. Daraufhin erhöht sich das Risiko wieder bis zur letzten Felduntersuchung am 25.09.2016. Auch hier spielt erneut der „Rekordsommer 2015“ eine große Rolle, den der anschließende Sommer 2016 nicht übertreffen konnte. Da die Variablen aus dem Jahre 2015 gegen Ende 2016 aufgrund des festgelegten Datenzeitraumes zunehmend weniger Einfluss nehmen, ist folglich logisch, dass das Risiko wieder ansteigt.

Die große Varianz in der Risikoabbildung der zehn erstellten Karten zeigt, dass es für die Abbildung der Realität nicht ausreichen kann, ausschließlich ein Felduntersuchungsdatum zu verwenden. Dies kann dazu führen, dass mit einem beliebig ausgewählten Datum ein zugehöriger Zeitraum für den Variablenbezug erfasst wird, der durch eine extreme Wetterlage gekennzeichnet ist und damit nicht in der Lage ist, die normalerweise üblichen klimatischen Bedingungen abzubilden. Da es sich bei den Temperaturvariablen hauptsächlich um Extremwerte handelt, fallen extreme Wetterlagen insbesondere ins Gewicht. Es empfiehlt sich daher, wie in diesem Fall, eine Mediankarte zu erstellen, die die ermittelten Wahrscheinlichkeiten zu verschiedenen Zeiträumen abbilden kann.

6.2. Räumliche Varianz

Trotz der deutlichen Unterschiede der Karten, die auf die jeweils zugehörigen Zeiträume des Variablenbezugs zurückzuführen sind, ist auf dem Großteil der Karten eine lokale Untergliederung des Gebietes zu erkennen. Diese Untergliederung weist dem höher gelegenen Teil des Untersuchungsgebietes in allen Karten mit Ausnahme der Risikokarte zum 18.05.2015 ein niedrigeres Risiko zu als dem tiefer gelegenen Teil. Für diese Ausprägung sind nun die gelände- und

bodenabhängigen Kovariablen zuständig. So zeichnen sich die tiefer gelegenen Felder zumeist durch ihre Nähe zu Gewässern oder auch durch vorhandene Riet- und Feuchtflächen aus. Beide Kovariablen üben einen deutlich positiven Einfluss auf das Vorkommen der Zwergschlammschnecke aus, wobei die Variable *Gewässer im Umkreis von 100 Metern* von allen berücksichtigten Kovariablen den stärksten Einfluss hat. Ebenso befinden sich auf der höher gelegenen Fläche keine Bäume oder Sträucher, die sich ebenfalls deutlich positiv auf das Vorkommen der Zwergschlammschnecke auswirken. Einzelne Felder im tiefer gelegenen Gebiet, die sich von den umliegenden Feldern durch ein etwas geringeres Risiko abgrenzen, befinden sich nicht in Gewässernähe und weisen keinen Bestand an einzelnen Bäumen auf. Der Einfluss des Parameters *Gründigkeit* kommt hauptsächlich in einigen wenigen Feldern in Hanglage, die nicht der Gründigkeitsstufe 4 zuzuordnen sind, zum Tragen. Hier zeigt sich ein leicht negativer Effekt auf das Vorhandensein von *Galba truncatula*. Somit werden einzelne Felder in Hanglage trotz einer ausreichenden Distanz zu Gewässern im Gegensatz zu den Feldern der hoch gelegenen Fläche der mittleren Risikokategorie zugeteilt.

Bei genauerer Betrachtung der zehn erstellten Karten ergibt sich, dass die oben beschriebene und durch Felduntersuchungen bestätigte Untergliederung ausschließlich durch Einwirkung des Rekordsommers 2015 entsteht. Die Karten, die mit Temperaturdatensätzen zu den weniger heißen Sommern 2014 und 2016 erstellt wurden, lassen eine geringere Differenzierung des Untersuchungsgebietes erkennen und kategorisieren den höher gelegenen Teil fälschlicherweise als Risikogebiet. Somit ist das Modell nicht in der Lage die beobachteten Bedingungen treffend abzubilden sofern kein Rekordsommer wie der des Jahres 2015 seinen Einfluss ausübt.

Eine Verbesserung der Karte könnte durch eine Verschiebung der Risikogrenzen erreicht werden. Dabei müsste vor allem die Grenze zwischen Kategorie 0 und 1 nach oben gesetzt werden. Des Weiteren ließe sich eine bessere Abbildung der Realität erreichen, wenn die gelände- und bodenabhängigen Kovariablen einen größeren Einfluss ausüben könnten oder die Temperaturvariablen einen deutlich geringeren.

Die Ergebnisse legen nahe, das Modell noch einmal zu überdenken und in einem anderen Untersuchungsgebiet erneut zu validieren. Um auszuschließen, dass die Unterschiede der Datenbezugsquellen der beiden Länder Schweiz und Deutschland

einen Einfluss auf die Auswertbarkeit der Validierung ausüben, sollte eine erneute Validierung in der Schweiz stattfinden.

7. Validierung

7.1. Berechnung von Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktiven Werten

Die Validierung der erstellten Risikokarten erfolgte, angelehnt an die Arbeit von Frau Dr. Baggenstos (BAGGENSTOS et al., 2016) mittels der Berechnung von Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktiven Werten. Ein Unterschied in der Methodik ergab sich dadurch, dass im vorliegenden Projekt keine Feuchtstellen ohne Zwergschlammschneckenfunde als richtig positiv gewertet wurden, sondern nur tatsächliche Zwergschlammschneckenfunde gezählt wurden. In Frau Dr. Baggenstos' Projekt wurden die Feuchtstellen nur einmalig untersucht, hingegen wurde in der vorliegenden Arbeit auch ein Augenmerk auf den zeitlichen Verlauf der Zwergschlammschneckenpopulation gelegt und es wurden folglich die potenziellen Fundorte mehrfach inspiziert.

Beibehalten wurde die Methodik zwei Vergleiche, basierend auf einer unterschiedlichen Einteilung der drei Risikoklassen in „Risiko vorhanden“ und „kein Risiko“, zu ziehen.

In der ersten Variante zählten hierbei die Risikoklassen 1 und 2 zu „Risiko vorhanden“ und nur die Risikoklasse 0 wurde mit „kein Risiko“ bewertet. Es ergaben sich für alle elf erstellten Karten Werte von 100 % für die Sensitivität. Die errechneten Werte für die Spezifität erreichten dagegen eine hohe Varianz von 0 % bis maximal 72 %. Der negativ prädiktive Wert nahm entweder 0 % oder 100 % an und der positiv prädiktive Wert schwankte zwischen 3 % bis maximal 82 %. Die höchsten Werte in allen vier Bereichen erreichte dabei die Mediankarte.

Die zweite Variante bewertete die Risikokategorien 0 und 1 als „kein Risiko“ und die Kategorie 2 mit „Risiko vorhanden“. Auch hier lag die Sensitivität stets bei 100 %. Die Spezifität erreichte Werte zwischen 0 % und 91 %, der positiv prädiktive Wert zwischen 7 % und 89 % und der negativ prädiktive Wert lag mit einer Ausnahme von 0 % ebenfalls bei 100 %. Die Mediankarte lieferte auch bei dieser Bewertungsmethode die höchsten Werte.

Die durchweg hohe Sensitivität besagt, dass alle als richtig positiv beurteilten Rasterfelder auch von der Karte als risikoreich eingestuft wurden. Allerdings zeigt die oft sehr niedrige Spezifität, dass die erstellten Karten dazu neigen das Risiko zu hoch zu bemessen, da risikofreie Felder teils als risikobehaftet angezeigt werden. Dies betrifft vor allem die zum 18.06.2015 erstellte Karte, die in beiden Berechnungsvarianten eine Spezifität von 0 % aufweist. Auffallend und richtungsweisend für zukünftige Modelle ist, dass bei beiden Varianten die Mediankarte mit den besten Werten aufwartet. In der zweiten Variante liefert ihre Validierung tatsächlich sehr gute Werte mit einer Sensitivität von 100 %, einer Spezifität von 91 %, einem positiv prädiktiven Wert von 89 % und einem negativ prädiktiven Wert von 100 %. Dies unterstreicht die These, dass es nötig ist, eine Mediankarte zu erstellen und, dass eine einzelne Karte zu nur einem Felduntersuchungsdatum zu einer falschen Abbildung der Realität führen kann. Zu diesem Zweck könnten auch direkt die Medianwerte der einzelnen Temperaturvariablen in das Modell eingespeist werden, um so direkt die mediane Wahrscheinlichkeit zu erhalten. Dies führt zum gleichen Ergebnis, würde aber einiges an Rechenaufwand ersparen. Die errechneten Validierungswerte bestätigen außerdem, dass die Risikokategoriengrenzen erneut durchdacht werden sollten.

7.2. Korrelation und Signifikanztest

Vor der Durchführung der Korrelationsanalyse fand ein Vorabcheck auf Nichtlinearität statt, um sicher zu gehen, dass die beiden Datensätze nicht durch eine nicht-lineare Beziehung zusammenhängen. Das in Abbildung 24 dargestellte Streudiagramm gibt in diesem Fall keinen Anlass eine Nichtlinearität zu vermuten.

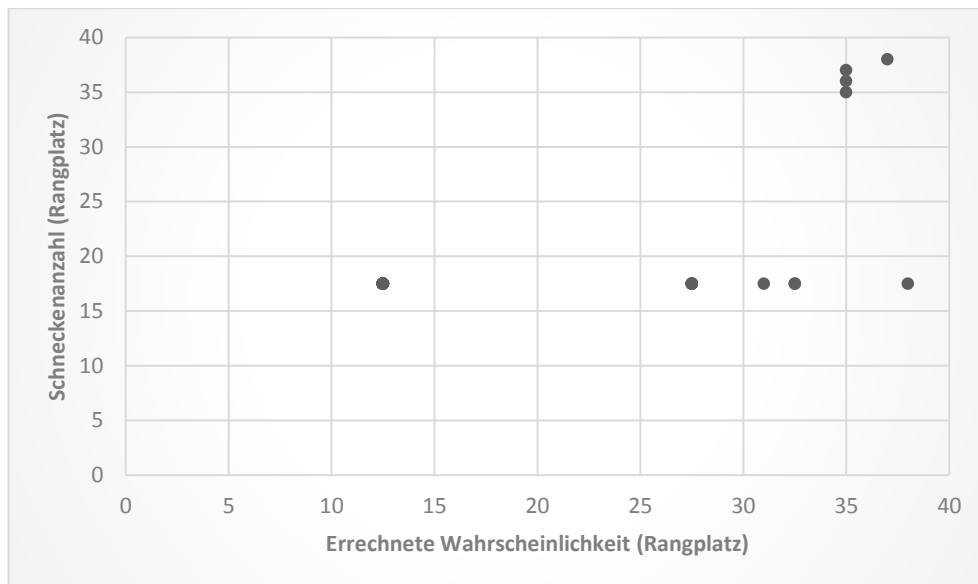


Abbildung 24: Streudiagramm der zwei Datensätze zu Schneckenanzahl und Wahrscheinlichkeit

Bei Beurteilung des Signifikanztests muss bedacht werden, dass der Stichprobenumfang relativ klein ist. Daher sollte das Ergebnis nicht überbewertet werden.

8. Fazit

Das Ziel dieser Arbeit war es, ein mathematisches Modell, das die Wahrscheinlichkeit berechnet an einem bestimmten Standort Zwergschlammschnecken anzutreffen, zu überprüfen. Dazu wurde dieses Modell auf ein kleines Gebiet angewendet, indem eine Risikokarte dieses Areals erstellt wurde. Anschließend wurde die erstellte Karte mittels Felduntersuchungen validiert.

Das kürzlich entwickelte *glmmLasso*-Modell, das zu diesem Zweck verwendet wurde, benötigt zur Wahrscheinlichkeitsberechnung Daten zu insgesamt 13 Kovariablen. Diese Kovariablen teilen sich in acht gelände- und bodenabhängige Einflussparameter sowie sieben Temperaturvariablen auf und wurden für alle Rasterfelder des Untersuchungsgebietes bestimmt. Die Rasterfelder beinhalten jeweils eine Fläche von 100 m x 100 m, exklusive der Felder am Rand des

Untersuchungsgebietes, deren Flächeninhalt teilweise geringer ist. Pro Rasterfeld ermittelte das *glmLasso*-Modell eine Wahrscheinlichkeit, die einer von insgesamt drei Risikokategorien zugeteilt wurde. Anschließend wurde das zugehörige Rasterfeld in der entsprechenden Kategorienfarbe eingefärbt.

Im Zeitraum vom 18.06.2015 bis 25.09.2016 fanden Felduntersuchungen statt, die zur Validierung der Risikokarte dienten. Hierbei wurden standardisiert für 30 Minuten jeweils fünf potenzielle Habitate nach Zwergschlammschnecken abgesucht. Außerdem wurden Felder als gesichert risikofrei eingestuft. Da insgesamt zehn Felduntersuchungen stattfanden, wurden entsprechend zehn Risikokarten erstellt, deren Datensatz sich auf das jeweilige Felduntersuchungsdatum bezog. Eine elfte Karte bildet den medianen Wert der zugrundeliegenden Wahrscheinlichkeiten der zehn Einzelkarten ab. Die Validierung wurde mittels der Berechnung von Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktiven Werten durchgeführt.

Die Mehrzahl der Risikokarten bildet die tatsächlichen Bedingungen im Untersuchungsgebiet nur ungenügend ab. Das Risiko wird meist überschätzt und die beobachtete Untergliederung des Untersuchungsgebietes in Risikogebiete und risikofreie Areale gelingt in einigen Karten nur sehr marginal bis gar nicht. Dies untermauern die Ergebnisse der Validierung. Die Sensitivität liegt stets bei 100 % während die Spezifität Werte von 0 % bis 91 % erreicht. Eine Ausnahme bildet die Mediankarte, die eine Sensitivität von 100 % und eine Spezifität von 91 % erreichte, sofern die Risikokategorien 0 und 1 als Karte negativ definiert wurden.

Es stellt sich die Frage, warum die Risikokarten die Realität zum Teil so unzulänglich abbilden. Ein Grund für die mangelhafte Risikoeinschätzung durch das Modell könnte in den Problemen beim Anlegen des Datensatzes zu finden sein. Diese ergaben sich vor allem dadurch, dass das angewendete mathematische Modell anhand Schweizer Daten entwickelt wurde und diese zum Teil für Deutschland nicht verfügbar sind. Dies betraf die beiden bodenabhängigen Kovariablen Gründigkeit und Wasserspeichervermögen. In beiden Fällen konnten die benötigten Angaben nicht exakt äquivalent zum Ursprungsmodell gewonnen werden. Allerdings sollten die dadurch entstehenden Abweichungen in der Wahrscheinlichkeitsberechnung nur geringfügig ausfallen und liefern somit keine zufriedenstellende Erklärung für die mäßigen Validierungsergebnisse. Diese Beobachtung bestätigt außerdem die Entscheidung der Wahl des

glmmLasso-Modells, das sich mit einer deutlich geringeren Anzahl an Kovariablen begnügt als das *grplasso*-Modell, das ebenfalls zur Überprüfung in Frage gekommen wäre.

Die Validierung einer interaktiven Karte der Schweiz, die 2008 erstellt wurde und das Fascioloserisiko abbilden sollte, erbrachte ebenfalls eine nur mäßige Spezifität und auch Sensitivität. Empfehlungen, die zu einer Verbesserung der Karte führen sollten, wurden bei der Entwicklung des *glmmLasso*-Modells weitestgehend umgesetzt. So wurden erstmals auch Primärhabitats wie kleinere Bachläufe, Riet- und Feuchtflächen sowie Hangwasseraustrittsstellen als Kovariablen berücksichtigt. Auch die Anzahl der Risikokategorien wurde, wie empfohlen, in der vorliegenden Arbeit reduziert.

Dennoch wird das Untersuchungsgebiet auf den meisten Karten nur unzureichend untergliedert. Dies gibt Anlass zur Vermutung, dass das *glmmLasso*-Modell noch nicht ausgereift ist und sich somit als Grundlage für das Erstellen einer Risikokarte nicht eignet. Die Gewichtung der Kovariablen erzeugt nur dann eine richtige Untergliederung, wenn eine extreme Wetterlage im Sinne eines sehr heißen Sommers vorherrscht und somit der negative Einfluss der Temperaturvariablen zum Tragen kommt. Unter anderen Umständen wird das Risiko Zwergschlammschnecken zu finden deutlich überschätzt. Es empfiehlt sich eine Mediankarte zu erstellen, die in der vorliegenden Arbeit eine gute Abbildung der vorhandenen Bedingungen im Untersuchungsgebiet liefern konnte. Allerdings ist der Anwender auch bei Gebrauch einer Mediankarte davon abhängig, dass im Zeitraum des Datenbezugs extreme Sommer auftraten. Eine Verschiebung der Grenzen der Risikokategorien wäre, mit dem Wissen, dass das Modell das Risiko eher überschätzt, ebenfalls sinnvoll. Insgesamt scheint eine Überarbeitung des Modells notwendig zu sein, um dem Ziel einer hilfreichen und zuverlässigen Risikokarte näher zu kommen.

Doch stellt sich die Frage, ob eine solche Überarbeitung sinnvoll ist. Sollte es gelingen, das Modell dergestalt zu modifizieren, dass eine realistische Abbildung dieses Untersuchungsgebietes möglich ist, bleibt das Problem der Übertragbarkeit des Modells auf größere Gebiete bestehen. Die Anwendbarkeit des Modells auf ein kleines Untersuchungsgebiet ist gewährleistet, da es mit einem überschaubaren Aufwand betreffend des Erstellens eines vollständigen Datensatzes verbunden ist. Allerdings trifft dies für ein größeres Gebiet nicht zu. Ein Gebiet wie Bayern oder

gar Deutschland anhand von Feldbegehungen in einem 100 m x 100 m Raster zu beurteilen ist mit einem nicht vertretbaren immensen Einsatz verbunden. Um dem Bedürfnis nach einer deutschlandweiten Risikokarte nachzukommen, müssten also entweder sehr aufwendige Felduntersuchungen durchgeführt oder auf andere Mittel zur Habitatsdetektion zurückgegriffen werden. Eine Möglichkeit bilden hierbei Drohnen, deren Einsatz allerdings äußerst kostspielig ist.

Abschließend muss bei der Beurteilung bedacht werden, dass durchaus die Möglichkeit besteht, dass das *glmmLasso*-Modell für ein anderes Untersuchungsgebiet bessere Ergebnisse liefert und nicht zwingend die Ergebnisse der Validierung des in dieser Arbeit festgelegten Gebietes pauschalisiert werden können.

Somit weisen die in dieser Arbeit ermittelten Validierungswerte darauf hin, dass es derzeit nicht möglich ist anhand des *glmmLasso*-Modells eine Risikokarte zu entwickeln, die für den Landwirt oder Tierarzt ein Hilfsmittel bei der Bekämpfung der Fasciolose auf Betriebsebene darstellt, da das Modell nicht in der Lage ist eine verlässliche kleinräumige Untergliederung zu ermitteln.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Der Große Leberegel, *Fasciola hepatica*, löst bei Rindern die meist chronisch verlaufende Krankheit Fasciolose aus. Diese führt, neben der Beeinträchtigung des Tierwohls, zu bedeutenden finanziellen Verlusten in der Landwirtschaft. In vielen Ländern, wie auch in der Schweiz und Deutschland, stellt die Zwergschlammschnecke *Galba truncatula* den Zwischenwirt dieser Trematode dar. Somit sind Gebiete mit hohem Vorkommen des Zwischenwirts, Gebiete mit einem hohen Infektionsrisiko. Um solche Gebiete erkennen zu können, bedarf es geeigneter mathematischer Modellierungsverfahren, die alle Transmissionsschritte berücksichtigen. Auf Basis eines solchen Modelles können Risikokarten erstellt werden, die ein wichtiges Hilfsmittel für die Bekämpfung der Fasciolose darstellen.

Gegenstand dieser Arbeit war es, eine Risikokarte eines definierten Untersuchungsgebietes in Deutschland zu kreieren und diese anschließend zu validieren. Die Risikokarte basierte dabei auf einem kürzlich entwickelten Regressionsmodell zur Vorhersage des Vorkommens von *Galba truncatula*.

Zur Anwendung kam hierbei ein *glmLasso*-Modell, das mittels 13 Kovariablen die Wahrscheinlichkeit an einem bestimmten Ort Zwergschlammschnecken anzutreffen, berechnet. Unter diesen 13 Kovariablen befinden sich acht gelände- und bodenabhängige Kovariablen und sieben Temperaturvariablen. Das Untersuchungsgebiet wurde in Rasterfelder einer Größe von 100 m x 100 m aufgeteilt, das Risiko pro Rasterfeld berechnet, einer von drei Risikokategorien zugeteilt und anschließend der Kategorie entsprechend eingefärbt.

Zur Validierung fanden in einem Zeitraum vom 18.06.2015 bis 25.09.2016 insgesamt zehn Felduntersuchungen statt, wobei standardisiert für 30 Minuten fünf potenzielle Zwergschlammschneckenhabitate abgesucht wurden. Außerdem standen einige gesichert negative Rasterfelder des Untersuchungsgebietes zur Beurteilung zur Verfügung.

Zu jedem Felduntersuchungsdatum wurde eine Risikokarte angefertigt. Des Weiteren wurde eine Mediankarte generiert, welche einen Überblick über den gesamten Zeitraum der Felduntersuchungen bieten sollte. Die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Rasterfelder wurden hierbei aus dem Median

der zehn Wahrscheinlichkeiten, die sich aus den Werten der anderen zehn Karten ergaben, berechnet. Somit standen elf Risikokarten zur Validierung zur Verfügung. Diese wurde mittels der Berechnung von Sensitivität, Spezifität sowie positiv und negativ prädiktiven Werte durchgeführt. Dazu konnten 58 von insgesamt 95 Rasterfeldern der Risikokarten herangezogen werden.

Die elf erstellten Karten bilden das Risiko in einer breiten Varianz ab. Das Untersuchungsgebiet ist teils einheitlich in der Farbe nur einer Risikokategorie eingefärbt, teils wird zwischen zwei Kategorien unterschieden und teils treten alle drei Risikoklassen auf. Die höchsten Werte mit einer Sensitivität von 100 % und einer Spezifität von 91 % erbrachte die Mediankarte, wenn die Risikokategorien 0 und 1 beide als Karte negativ definiert wurden. Wurde ausschließlich die Risikokategorie 0 als Karte negativ definiert, sank die Spezifität auf 71 %. Die Sensitivität betrug bei allen Karten und in jeder Auswertungsvariante 100 %, die Spezifität schwankte allerdings zwischen 0 % und 91 %.

Die Mehrzahl der angefertigten Karten bildet das Risiko Zwergschlammschnecken vorzufinden nur ungenügend ab. Das Risiko wird zumeist überschätzt und das untersuchte Gebiet unzureichend differenziert. Die Validierung zeigt aber auch, dass die Mediankarte in diesem Fall gut geeignet ist, um die tatsächlich vorherrschenden Bedingungen abzubilden.

VII. SUMMARY

The Common Liver Fluke, *Fasciola hepatica*, is responsible for Fasciolosis in cattle that often manifests as a chronic disease. In addition to the impairment of the animal's wellbeing, Fasciolosis leads to significant economic losses in agriculture. The intermediate host of *Fasciola hepatica* in many countries, including Switzerland and Germany is *Galba truncatula*. As such, areas with a high occurrence of the intermediate host could be identified as areas with a high risk of infection. To identify areas with a high risk of infection, appropriate mathematical modelling techniques, which account for all transmission steps, are necessary. Based on such models, risk maps, important tools for the control of Fasciolosis, can be developed.

The aim of this study was the creation of a risk map for a defined research area in Germany and the subsequent validation of that map. The risk map was based on a recently developed regression model that predicts the occurrence of *Galba truncatula*.

To this end, the probability of encountering *Galba truncatula* at a given location was calculated using a *glmmLasso* model which was based on 13 covariates, of which eight of the variables were terrain and soil dependent and seven were temperature variables. The area under investigation was divided into grid fields of 100 m x 100 m, the risk per grid field was calculated, allocated to one of three risk categories and subsequently coloured according to that category.

The validation of the map was performed by conducting 10 field surveys between 18.06.2015 and 25.09.2016. Five potential *Galba truncatula*-habitats were scanned in a standardized way for 30 minutes. In addition, some secured negative grid fields of the investigation area were provided for evaluation.

A risk map was generated for each field survey. Furthermore, a median map was created, providing an overview for the entire time frame of the field surveys. The probability of the individual grid fields was calculated based on the median of the ten probabilities given by the other ten maps. Therefore, a total of eleven risk maps were generated for validation. The validation was conducted via the calculation of sensitivity, specificity, as well as positive and negative predictive values. For this purpose, 58 of a total of 95 grid fields of the risk maps could be used.

The 11 maps that were generated showed a wide variance in risk. The research area is partially homogenous, with field grids assigned to only one risk category, while some grids are allocated to two or all three risk categories. The highest values with a sensitivity of 100 % and a specificity of 91 % were generated by the median map when the risk categories 0 and 1 were both defined as map negative. When only risk category 0 was defined as map negative, the specificity decreased to 71 %. The sensitivity was 100 % for all maps and in every evaluation variation, the specificity however fluctuated between 0 and 91 %.

The majority of the maps generated in this study describe the risk of encountering *Galba truncatula* insufficiently. In general, the risk is overestimated, and the researched area not differentiated enough. However, the validation shows that the median map is well suited to depict the actual predominant conditions.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

Ad-hoc-AG Boden (2005) Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage edn. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover

Andreß H-J. Glossar zur Datenerhebung und statistischen Analyse. 2001: <http://eswf.uni-koeln.de/glossar/node100.html>. 01.11.2017.

Andrews SJ. The Life Cycle of *Fasciola hepatica*. In: Fasciolosis. Dalton JP, ed. Oxon, New York: CABI Publishing 1999: 1-29.

Baggenstos R, Dahinden T, Torgerson PR, Bär H, Rapsch C, Knubben-Schweizer G. Validation of an interactive map assessing the potential spread of *Galba truncatula* as intermediate host of *Fasciola hepatica* in Switzerland. Geospatial health 2016; 11

Bayerische Vermessungsverwaltung E. BayernAtlas. 2017: <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?lang=de&topic=ba&bgLayer=atkis&catalogNodes=11,122&layers=luftbild>.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2015) Digitale Übersichtsbodenkarte von Bayern im Maßstab 1:25000 (ÜBK25), Augsburg

Becker P, Imbery F, Friedrich K, Rauthe M, Matzarakis A, Grätz A, Janssen W (2015) Klimatologische Einschätzung des Sommer 2015. Tech. rep., Deutscher Wetter Dienst

Bennema S, Vercruysse J, Claerebout E, Schnieder T, Strube C, Ducheyne E, Hendrickx G, Charlier J. The use of bulk-tank milk ELISAs to assess the spatial distribution of *Fasciola hepatica*, *Ostertagia ostertagi* and *Dictyocaulus viviparus* in dairy cattle in Flanders (Belgium). Vet Parasitol 2009; 165: 51-7.

Bennema S, Ducheyne E, Vercruysse J, Claerebout E, Hendrickx G, Charlier J. Relative importance of management, meteorological and environmental factors in

the spatial distribution of *Fasciola hepatica* in dairy cattle in a temperate climate zone. *International Journal for Parasitology* 2011; 41: 225-33.

Bühner M, Ziegler M (2009) Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Pearson Education Deutschland GmbH, München

Caron Y, Lasri S, Losson B. *Fasciola hepatica*: An assessment on the vectorial capacity of *Radix labiata* and *R. balthica* commonly found in Belgium. *Vet Parasitol* 2007; 149: 95-103.

Caron Y, Martens K, Lempereur L, Saegerman C, Losson B. New insight in lymnaeid snails (Mollusca, Gastropoda) as intermediate hosts of *Fasciola hepatica* (Trematoda, Digenea) in Belgium and Luxembourg. *Parasit Vectors* 2014; 7: 66.

De Roeck E, Van Coillie F, De Wulf R, Soenen K, Charlier J, Vercruysse J, Hantson W, Ducheyne E, Hendrickx G. Fine-scale mapping of vector habitats using very high resolution satellite imagery: a liver fluke case-study. *Geospatial health* 2014; 8: 671-83.

Deplazes P, Eckert J (2013) Lehrbuch der Parasitologie für die Tiermedizin, 3. Auflage edn. Enke Verlag, Stuttgart

Deutscher Wetterdienst. Datenprüfung/Qualitätskontrolle. Offenbach: 2015; 12.06.2015:

<https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/klimadatenverarbeitung/qualitaetssicherung/quali.html>. 29.08.2018.

Deutscher Wetterdienst. Stationslexikon. Offenbach: 2018; 30.08.2018: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/statliste/statlex.html?view=nasPublication&nn=16102>. 30.08.2018.

Ducommun D, Pfister K. Prevalence and distribution of *Dicrocoelium dendriticum* and *Fasciola hepatica* infections in cattle in Switzerland. *Parasitology research*

1991; 77: 364-6.

Durr P, Tait N, Lawson A. Bayesian hierarchical modelling to enhance the epidemiological value of abattoir surveys for bovine fasciolosis. *Preventive Veterinary Medicine* 2005; 71: 157-72.

Duscher R, Duscher G, Hofer J, Tichy A, Prosl H, Joachim A. *Fasciola hepatica*—Monitoring the milky way? The use of tank milk for liver fluke monitoring in dairy herds as base for treatment strategies. *Vet Parasitol* 2011; 178: 273-8.

Dutra L, Molento M, Naumann C, Biondo A, Fortes F, Savio D, Malone J. Mapping risk of bovine fasciolosis in the south of Brazil using Geographic Information Systems. *Vet Parasitol* 2010; 169: 76-81.

Eckert J, Sauerlander R, Wolff K. Häufigkeit und geographische Verbreitung von *Fasciola hepatica* in der Schweiz. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 1975;

Eckert J, Friedhoff KT, Zahner H, Deplazes P (2005) *Lehrbuch der Parasitologie für die Tiermedizin*. Enke, Stuttgart

Fairweather I. Reducing the future threat from (liver) fluke: realistic prospect or quixotic fantasy? *Vet Parasitol* 2011; 180: 133-43.

Frömming E (1956) *Biologie der mitteleuropäischen Süßwasserschnecken*. Duncker & Humboldt, Berlin

Fürst T, Keiser J, Utzinger J. Global burden of human food-borne trematodiasis: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet infectious diseases* 2012; 12: 210-21.

Gründer H-D. Leberegelbefall. In: *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*. Gerrit Dirksen H-DG, Matthaeus Stöber, ed. Berlin: Paul Parey 2006: 640-4.

Halimi M, Farajzadeh M, Delavari M, Arbabi M. Developing a climate-based risk map of fascioliasis outbreaks in Iran. *Journal of Infection and public health* 2015; 8: 481-6.

Heppleston P. Life history and population fluctuations of *Lymnaea truncatula* (Mull), the snail vector of fascioliasis. *Journal of Applied Ecology* 1972; 9: 235-48.

Kantzoura V, Kouam MK, Feidas H, Teofanova D, Theodoropoulos G. Geographic distribution modelling for ruminant liver flukes (*Fasciola hepatica*) in south-eastern Europe. *International Journal for Parasitology* 2011; 41: 747-53.

Kaplan RM. *Fasciola hepatica*: a review of the economic impact in cattle and considerations for control. *Vet Ther* 2001; 2: 40-50.

Knubben-Schweizer G, Rüegg S, Torgerson PR, Rapsch C, Grimm F, Hässig M, Deplazes P, Braun U. Control of bovine fasciolosis in dairy cattle in Switzerland with emphasis on pasture management. *The Veterinary Journal* 2010; 186: 188-91.

Knubben-Schweizer G, Scheuerle M, Pfister K. Die Bekämpfung des großen Leberegels beim Rind. *Tierärztliche Praxis Großtiere* 2011; 39: 179-85.

Koch S. Untersuchungen zur Verbreitung von *Fasciola hepatica* im bayerischen Milchviehbestand. Diss. med. vet. 2005. Ludwig-Maximilians-Universität München.

Kuckatz U, Rädiker S, Ebert T, Schehl J (2013) Statistik - Eine verständliche Einführung, 2. Auflage edn. Springer VS, Wiesbaden

Kuerpick B, Conraths FJ, Staubach C, Froehlich A, Schnieder T, Strube C. Seroprevalence and GIS-supported risk factor analysis of *Fasciola hepatica* infections in dairy herds in Germany. *Parasitology* 2013; 140: 1051-60.

Landesamt für Digitalisierung BuV. BayernAtlas. München:

<https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/>. 30.08.2018.

Landesamt für Digitalisierung BuV. ATKIS® Landschaftsmodell und Digitale Topographische Karten.

https://www.ldbv.bayern.de/file/pdf/929/Faltblatt_ATKIS_DTK.pdf. 30.08.2018.

Landesamt für Digitalisierung BuV (2015) Digitales Orthophoto

Landesamt für Digitalisierung BuV (2016) Digitale Ortskarte 1:10.000

Malone J, Williams T, Muller R, Geaghan J, Loyacano A. Fascioliasis in cattle in Louisiana: development of a system to predict disease risk by climate, using the Thornthwaite water budget. American journal of veterinary research 1987; 48: 1167-70.

Malone J, Zukowski S. Geographic models and control of cattle liver flukes in the southern USA. Parasitology Today 1992; 8: 266-70.

Malone J, Gommers R, Hansen J, Yilma J, Slingenberg J, Snijders F, Nachtergaele F, Ataman E. A geographic information system on the potential distribution and abundance of *Fasciola hepatica* and *F. gigantica* in east Africa based on Food and Agriculture Organization databases. Vet Parasitol 1998; 78: 87-101.

Malone JB, Fehler DP, Loyacano AF, Zukowski SH. Use of LANDSAT MSS Imagery and Soil Type in a Geographic Information System to Assess Site-Specific Risk of Fascioliasis on Red River Basin Farms in Louisiana. Annals of the New York Academy of Sciences 1992; 653: 389-97.

Mas-Coma S, Bargues MD, Valero MA. Fascioliasis and other plant-borne trematode zoonoses. International Journal for Parasitology 2005a; 35: 1255-78.

Mas-Coma S, Bargues M, Valero M. Fascioliasis and other plant-borne trematode zoonoses. International Journal for Parasitology 2005b; 35: 1255-78.

Matt M, Schöpf K, Mader C. Leberegelmonitoring: flächendeckende serologische Untersuchungen zum *Fasciola hepatica*-Befall in Tirol. Wiener Tierärztliche Monatsschrift 2007; 94: 210-3.

McCann CM, Baylis M, Williams DJ. The development of linear regression models using environmental variables to explain the spatial distribution of *Fasciola hepatica* infection in dairy herds in England and Wales. International Journal for Parasitology 2010; 40: 1021-8.

McIlroy SG, Goodall EA, Stewart DA, Taylor SM, McCracken RM. A computerised system for the accurate forecasting of the annual prevalence of fasciolosis. Preventive Veterinary Medicine 1990; 9: 27-35.

Mehl S (1932a) Die Lebensbedingungen der Leberegelschnecke (*Galba truncatula* Müller). Untersuchungen über Schale, Verbreitung, Lebensgeschichte, natürliche Feinde und Bekämpfungsmöglichkeiten. Verlag Dr. F. P. Datterer & Cie. (Sellier) München

Mehl S, Dr. Dr. (1932b) Die Lebensbedingungen der Leberegelschnecke (*Galba truncatula* Müller). Verlag Dr. F. P. Datterer & Cie. (Sellier) Freising-München, München

Molina-Hernández V, Mulcahy G, Pérez J, Martínez-Moreno Á, Donnelly S, O'Neill SM, Dalton JP, Cwiklinski K. *Fasciola hepatica* vaccine: we may not be there yet but we're on the right road. Vet Parasitol 2015; 208: 101-11.

Niederberger J. Räumliche Interpolation von Niederschlag und Klimadaten. Diss. med. vet. 2000. Albert-Ludwigs-Universität.

Novobilský A, Novák J, Björkman C, Höglund J. Impact of meteorological and environmental factors on the spatial distribution of *Fasciola hepatica* in beef cattle herds in Sweden. BMC veterinary research 2015; 11: 128.

Ollerenshaw C, Rowlands W. A method of forecasting the incidence of fascioliasis in Anglesey. *Veterinary Record* 1959; 71: 591-8.

Ollerenshaw C, Rowlands W, Association BV (1959) A Method of Forecasting the Incidence of Fascioliasis in Anglesey. British Veterinary Association

Ollerenshaw C. The approach to forecasting the incidence of fascioliasis over England and Wales 1958–1962. *Agricultural Meteorology* 1966; 3: 35-53.

Olsen A, Frankena K, Toft N, Thamsborg SM, Enemark HL, Halasa T. Prevalence, risk factors and spatial analysis of liver fluke infections in Danish cattle herds. *Parasites & vectors* 2015a; 8: 160.

Olsen A, Frankena K, Rene’ Bødker NT, Thamsborg SM, Enemark HL, Halasa T. Prevalence, risk factors and spatial analysis of liver fluke infections in Danish cattle herds. *infection* 2015b; 6: 7.

Petzold F. Zur Populationsdynamik von *Galba truncatula* (Müll.) und deren Infektion mit *Fasciola hepatica* (L.) in einem endemischen Voralpengebiet der Schweiz. Diss. med. vet. 1989a. Universität Basel.

Petzold F (1989b) Zur Populationsdynamik von *Galba truncatula* (Müll.) und deren Infektion mit *Fasciola hepatica* (L.) in einem endemischen Voralpengebiet der Schweiz

Pullan N, Climo F, Mansfield CB. Studies on the distribution and ecology of the family Lymnaeidae (Mollusca: Gastropoda) in New Zealand. *Journal of the Royal Society of New Zealand* 1972; 2: 393-405.

QGIS DT (2017) QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project

R Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. R

Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria

Rapsch C, Schweizer G, Grimm F, Kohler L, Bauer C, Deplazes P, Braun U, Torgerson P. Estimating the true prevalence of *Fasciola hepatica* in cattle slaughtered in Switzerland in the absence of an absolute diagnostic test. *International Journal for Parasitology* 2006; 36: 1153-8.

Rapsch C, Dahinden T, Heinzmann D, Torgerson PR, Braun U, Deplazes P, Hurni L, Bär H, Knubben-Schweizer G. An interactive map to assess the potential spread of *Lymnaea truncatula* and the free-living stages of *Fasciola hepatica* in Switzerland. *Vet Parasitol* 2008; 154: 242-9.

Relf V, Good B, Hanrahan J, McCarthy E, Forbes A. Temporal studies on *Fasciola hepatica* in *Galba truncatula* in the west of Ireland. *Vet Parasitol* 2011; 175: 287-92.

Remund J, Cattin R (2013) Ergänzungen zum Projekt Trockenstress im Schweizer Wald: Neueinschätzung der nutzbaren Feldkapazität Datenlieferungen für vier Forschungsprojekte. ETH Zurich

Riedl D. Modellierung in der Geoinformation. 2008: http://homepage.univie.ac.at/doris.riedl/model0910/tut_geostat/IDW.htm.

Robinson MW, Dalton JP. Zoonotic helminth infections with particular emphasis on fasciolosis and other trematodiasis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 2009; 364: 2763-76.

Rondelaud D, Hourdin P, Vignoles P, Dreyfuss G, Cabaret J. The detection of snail host habitats in liver fluke infected farms by use of plant indicators. *Vet Parasitol* 2011; 181: 166-73.

Rößler A-S. Grundlage für eine Beurteilung des Transmissionsrisikos von *Fasciola hepatica*: logistische Regressionsmodelle zur Vorhersage des Auftretens von *Galba*

truncatula in der Schweiz. Diss. med. vet. 2016. Ludwig-Maximilians-Universität.

Schäffer M. Bovine Fasciolose in Bayerischen "Bio-Milchkuhbetrieben": Prävalenz und Risikofaktoren. Diss. med. vet. 2018. Ludwig-Maximilians-Universität München.

Scheffer F, Schachtschabel P, Blume H-P (2010) Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage edn. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg

Schnieder T (2006) Veterinärmedizinische Parasitologie. Enke Verlag, Stuttgart

Schweizer G, Plebani G, Braun U. Prävalenz von *Fasciola hepatica* und *Dicrocoelium dendriticum* beim Rind: Untersuchung in einem Ostschweizer Schlachthof. Schweizer Archiv für Tierheilkunde 2003; 145: 177-9.

Schweizer G, Hässig M, Braun U. Das Problembewusstsein von Landwirten in Bezug auf die Fasciolose des Rindes. Schweizer Archiv für Tierheilkunde 2005a; 147: 253-7.

Schweizer G, Braun U, Deplazes P, Torgerson PR. Estimating the financial losses due to bovine fasciolosis in Switzerland. Veterinary Record 2005b; 157: 188-93.

Schweizer G, Meli M, Torgerson P, Lutz H, Deplazes P, Braun U. Prevalence of *Fasciola hepatica* in the intermediate host *Lymnaea truncatula* detected by real time TaqMan PCR in populations from 70 Swiss farms with cattle husbandry. Vet Parasitol 2007; 150: 164-9.

Selemetas N, Ducheyne E, Phelan P, O'Kiely P, Hendrickx G, de Waal T. Spatial analysis and risk mapping of *Fasciola hepatica* infection in dairy herds in Ireland. Geospatial health 2015; 9: 281-91.

Taylor EL. Fascioliasis and the liver fluke. Fascioliasis and the liver fluke. 1964;

Thomas AP. Memoirs: The Life History of the Liver-Fluke (*Fasciola hepatica*). Quarterly Journal of Microscopical Science 1883; 2: 99-133.

Torgerson P, Claxton J. Epidemiology and control. In: Fasciolosis. Dalton JP, ed. Oxon: CABI Publishing 1999: 113-49.

Tum S, Puotinen ML, Copeman DB. A geographic information systems model for mapping risk of fasciolosis in cattle and buffaloes in Cambodia. Vet Parasitol 2004; 122: 141-9.

Tum S, Puotinen M, Skerratt L, Chan B, Sothoeun S. Validation of a geographic information system model for mapping the risk of fasciolosis in cattle and buffaloes in Cambodia. Vet Parasitol 2007; 143: 364-7.

Wetterdienst D. Weste-XL. 2017:
http://www.dwd.de/DE/leistungen/weste/westexl/weste_xl.html. 30.08.2018.

Yilma J, Malone J. A geographic information system forecast model for strategic control of fasciolosis in Ethiopia. Vet Parasitol 1998; 78: 103-27.

Zukowski SH, Wilkerson GW, Malone JB. Fasciolosis in cattle in Louisiana. II. Development of a system to use soil maps in a geographic information system to estimate disease risk on Louisiana coastal marsh rangeland. Vet Parasitol 1993; 47: 51-65.

IX. ANHANG

1. Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Entwicklungszyklus von Fasciola hepatica (Zeichnung von Matthias Haab, modifiziert nach (ECKERT et al., 2005)).....</i>	<i>6</i>
<i>Abbildung 2: Modifiziertes Orthophoto des für die Studie festgelegten Untersuchungsgebietes (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2015).....</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 3: Potenzieller Fundort I, fotografiert im Mai 2016.....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 4: Potenzieller Fundort II, fotografiert im April 2015.....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 5: Potenzieller Fundort III, fotografiert im Mai 2016.....</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 6: Potenzieller Fundort IV, fotografiert im Mai 2016.....</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 7: Potenzieller Fundort V, fotografiert im April 2015.....</i>	<i>40</i>
<i>Abbildung 8: Modifizierte Digitale Ortskarte des Untersuchungsgebietes mit nummerierten Rasterfeldern (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2016)..</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 9: Modifizierte Digitale Ortskarte mit Übersicht über die auswertbaren Felder (rot gefärbt) (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, 2016).....</i>	<i>46</i>
<i>Abbildung 10: Anzahl der Schneckenfunde pro potenziellem Fundort über den gesamten Zeitraum der Felduntersuchungen.....</i>	<i>49</i>
<i>Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der Schneckenfunde des Jahres 2015.....</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der Schneckenfunde des Jahres 2016.....</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 13: Risikokarte zum 18.06.2015.....</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 14: Risikokarte zum 27.07.2015.....</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 15: Risikokarte zum 26.08.2015.....</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 16: Risikokarte zum 27.09.2015.....</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 17: Risikokarte zum 27.10.2015.....</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 18: Risikokarte zum 07.05.2016.....</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 19: Risikokarte zum 06.06.2016.....</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 20: Risikokarte zum 25.07.2016.....</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 21: Risikokarte zum 22.08.2016.....</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 22: Risikokarte zum 25.09.2016.....</i>	<i>55</i>
<i>Abbildung 23: Mediankarte.....</i>	<i>55</i>
<i>Abbildung 24: Streudiagramm der zwei Datensätze zu Schneckenanzahl und Wahrscheinlichkeit.....</i>	<i>77</i>

2. Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: In glmLasso ausgewählte Regressionsparameter, geordnet nach absteigender Größe der Schätzer</i>	26
<i>Tabelle 2: Überblick über die ausgewählten Kovariablen</i>	27
<i>Tabelle 3: Gegenüberstellung Gründigkeitseinteilung Deutschland / Schweiz</i>	30
<i>Tabelle 4: Gegenüberstellung der Einteilungen der nutzbaren Feldkapazität und des Wasserspeichervermögens</i>	31
<i>Tabelle 5: Einteilung der errechneten Wahrscheinlichkeiten in Risikokategorien</i>	44
<i>Tabelle 6: Zuordnung der einzelnen Rasterfelder zu den jeweiligen Fundorten</i> ..	47
<i>Tabelle 7: Übersicht über die Anzahl der Felder pro Risikokategorie und Felduntersuchungsdatum</i>	56
<i>Tabelle 8: Errechnete Werte von Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktiven Werten pro Felduntersuchungsdatum nach Variante 1</i>	57
<i>Tabelle 9: Errechnete Werte von Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktiven Werten pro Felduntersuchungsdatum nach Variante 2</i>	57
<i>Tabelle 10: Einteilung für die Interpretation der Stärke des Zusammenhangs nach Berechnung von „Rho“</i>	58
<i>Tabelle 11: Verwendete Werte der Standardabweichung</i>	97
<i>Tabelle 12: Verwendete Mittelwerte</i>	97
<i>Tabelle 13: Angaben zu nutzbarer Feldkapazität und Gründigkeit im Untersuchungsgebiet</i>	98
<i>Tabelle 14: Überblick über Lücken in der Datenbereitstellung der Wetterstationen</i>	102
<i>Tabelle 15: Listung der Wetterstationen mit deren Lage, Distanz und Höhenunterschied zum Untersuchungsgebiet</i>	103
<i>Tabelle 16: Übersicht über Rangplätze der Wahrscheinlichkeiten und Schnekenzahlen zur Durchführung der Korrelationsanalyse</i>	104
<i>Tabelle 17: Übersicht über die Anzahl Galba truncatula-Funde pro Fundort und Felduntersuchungsdatum</i>	105
<i>Tabelle 18: Listung der errechneten Wahrscheinlichkeiten pro Rasternummer und Datum</i>	106

3. Tabellen des Anhangs

Tabelle 11: Verwendete Werte der Standardabweichung

Kovariablen	Standardabweichung
Gründigkeit4	0,48933273
Bäume	0,483197317
Gewässer ... 100 m	0,477036909
Eistage-3	8,223762931
Hitzetage-1	5,062335614
Temp5max<0-3	8,05310126
Temp5mean<0-2	9,634224655
Temp5mean>20-1	11,52185516
Temp200max>30-1	4,8849175
Temp200mean>20-1	12,66467673
Hangwasseraustritt	0,379510188
Riet/Feuchtfächen	0,325441248
Wasserspeichervermögen4	0,402680399

Tabelle 12: Verwendete Mittelwerte

Kovariablen	Mittelwert
Gründigkeit4	0,607438016528926
Bäume	0,367768595041322
Gewässer ... 100 m	0,652892561983471
Eistage-3	24,0206611570248
Hitzetage-1	5,53719008264463
Temp5max<0-3	16,3553719008264
Temp5mean<0-2	52,1074380165289
Temp5mean>20-1	33,9214876033058
Temp200max>30-1	5,34710743801653
Temp200mean>20-1	25,9876033057851
Hangwasseraustritt	0,173553719008264
Riet/Feuchtfächen	0,119834710743802
Wasserspeichervermögen4	0,202479338842975

Tabelle 13: Angaben zu nutzbarer Feldkapazität und Gründigkeit im Untersuchungsgebiet

Fund-ort	Legen-de	Haupt-boden-typ	Sub-strat bzw. Profil-num-mer	Flä-chen-anteil an der Legen-de	Modellprofil	Ober-grenze [cm]	Unter-grenze [cm]	nutzbare Feldkapa-zität (pF 2,5-4,2) [Volume n-%]	Gründig-keit mit mittlerer bzw. maximaler Tiefe	nFK pro Horizont	nFK pro Horizont adjus-tiert mit Hori-zonttiefe	nFK im Wurzel-raum Profil adjustiert mit Flächen-anteil Legende
I II III IV	65b	GGn, BB-GG	ff-s,l//ff-es, el	60	Gley aus sandigen Talsedimenten über tiefen carbonatreichen, tonigen Talablagerungen	0	20	12	Wp4	24	24	
					MHGW = 0 dm	20	50	6	95	17	17	
					MNGW = 7 dm	50	80	5		15	15	
					Vernässungs-grad = Vn3	80	110	10		30	15	
									nFK im Wurzelraum Profil		72	43
				40	Braunerde-Gley aus lehmigem und lehmig-sandigem Substrat (Talsedimente) über carbonat-	0	20	15	Wp4	30	30	

					reichem Untergrund							
					MHGW = 4 dm	20	35	15	95	23	23	
					MNGW = 13 dm	35	65	16		48	48	
					Vernässungsgrad = Vn2	65	100	16		56	48	
									nFK im Wurzelraum Profil	149	59	
									nFK im Wurzelraum Legende		102	
V	8c	BBn	p- (k)ol)s -kl; p- (k)l/s- kl	100	Ackerbraunerde aus Molasse- und Deckenschotter- verwitterung mit schluffiger bis lehmiger, schwach kiesiger lößlehmhaltiger Deckschicht	0	25	14	Wp5	35	35	
					MHGW >=20 dm	25	45	14	120	28	28	
					MNGW >= 20 dm	45	85	12		49	49	
					Vernässungsgrad = Vn0	85	120	8		28	28	
									nFK im Wurzelraum Profil	141	141	
									nFK im Wurzelraum Legende		141	
	27	BBn	243	70	Ackerbraunerde aus kiesig-	0	30	9	Wp4	27	27	

					sandigem Deckenschotter- material über Fließerde aus Deckenschotter- material							
					MHGW ≥ 20 dm	30	50	6	95	13	13	
					MNGW = 15 dm	50	100	3		17	15	
					Vernässungsgrad = V_{n1}				nFK im Wurzelraum Profil		55	38
			2187	10	Ackerbraunerde aus Kiessand bis - lehm bis Lehm Kies (Deckenschotter) mit Deckschicht aus Flugsand	0	26	10	Wp4	25	25	
					MHGW ≥ 20 dm	26	37	10	95	11	11	
					MNGW ≥ 20 dm	37	66	4		12	12	
					Vernässungsgrad = V_{n0}	66	100	4		14	12	
									nFK im Wurzelraum Profil		60	6
			2186	20	Ackerbraunerde aus Würmeiszeit- lichen Löss- lehm über altpleistozäner	0	30	18	Wp5	54	54	

					Schotterverwitterung							
					MHW ≥ 20 dm	30	60	12	110	35	35	
					MNGW ≥ 20 dm	60	80	4		8	8	
					Vernässungsgrad = V_{n0}	80	110	4		13	13	
									nFK im Wurzelraum Profil	110	22	
									nFK im Wurzelraum Legende		66	

Tabelle 14: Überblick über Lücken in der Datenbereitstellung der Wetterstationen

	Messstation								
	Kaufbeuren			Memmingen			Kempten		
	Temp5	Temp200mean	Temp200max	Temp5	Temp200mean	Temp200max	Temp5	Temp200mean	Temp200max
2012	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Ersatzstation	kein Ersatz								
2013	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	98 %	98 %	99 %
Ersatzstation	kein Ersatz						Oy		
2014	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	98 %	100 %	100 %
Ersatzstation	kein Ersatz						Oy	kein Ersatz	
2015	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Ersatzstation	kein Ersatz						Oy	kein Ersatz	
2016	66 %	66 %	66 %	99 %	100 %	100 %	98 %	100 %	100 %
Ersatzstation	Hohenpeißen- berg, Kaufbeuren- Oberbeuren	Altenstadt, Kaufbeuren- Oberbeuren	Hohenpeißen- berg, Kaufbeuren- Oberbeuren	Leutkirch	kein Ersatz		Oy	kein Ersatz	

Tabelle 15: Listung der Wetterstationen mit deren Lage, Distanz und Höhenunterschied zum Untersuchungsgebiet

Name	ID	Breite	Länge	Höhe	Distanz zum Untersuchungsgebiet (in km)	Höhenunterschied zu Untersuchungsgebiet „oben“ (750 m)	Höhenunterschied zu Untersuchungsgebiet „unten“ (700 m)
Kaufbeuren- Oberbeuren	15555	47.876	10.585	816	11,9	66	116
Kaufbeuren	2542	47.865	10.601	716	13,5	34	16
Hohenpeißenberg	2290	47.8009	11.0108	977	44,4	227	277
Altenstadt	125	47.8342	10.8667	756	33,0	6	56
Neuburg/Kammel- Langenhaslach	3485	48.312	10.377	486	42,6	264	214
Kempten	2559	47.7233	10.3348	705	24,6	45	5
Oy-Mittelberg- Petersthal	3857	47.636	10.389	885	33,1	135	185
Memmingen	3244	47.982	10.138	615	23,7	135	85
Leutkirch- Herlazhofen	7403	47.7955	10.0324	672	34,4	78	28

Tabelle 16: Übersicht über Rangplätze der Wahrscheinlichkeiten und Schneckenzahlen zur Durchführung der Korrelationsanalyse

Untersuchtes Feld	Mediane Wahrscheinlichkeit	Summe Schnecken	Rang Wahrscheinlichkeit	Rang Schnecken
1	0,311112925	0	12,5	17,5
2	0,311112925	0	12,5	17,5
3	0,311112925	0	12,5	17,5
4	0,311112925	0	12,5	17,5
5	0,311112925	0	12,5	17,5
6	0,311112925	0	12,5	17,5
7	0,311112925	0	12,5	17,5
8	0,311112925	0	12,5	17,5
9	0,311112925	0	12,5	17,5
10	0,311112925	0	12,5	17,5
11	0,311112925	0	12,5	17,5
12	0,311112925	0	12,5	17,5
13	0,311112925	0	12,5	17,5
14	0,311112925	0	12,5	17,5
15	0,311112925	0	12,5	17,5
16	0,311112925	0	12,5	17,5
17	0,311112925	0	12,5	17,5
18	0,311112925	0	12,5	17,5
19	0,311112925	0	12,5	17,5
20	0,311112925	0	12,5	17,5
21	0,311112925	0	12,5	17,5
22	0,311112925	0	12,5	17,5
23	0,311112925	0	12,5	17,5
24	0,311112925	0	12,5	17,5
25	0,399695023	0	27,5	17,5
26	0,399695023	0	27,5	17,5
27	0,399695023	0	27,5	17,5
29	0,399695023	0	27,5	17,5
30	0,399695023	0	27,5	17,5
31	0,399695023	0	27,5	17,5
47	0,549654879	0	31	17,5
28	0,840085646	0	32,5	17,5
32	0,840085646	0	32,5	17,5
Fundort V	0,978831275	0	38	17,5
Fundort III	0,90604282	14	35	35
Fundort IV	0,90604282	24	35	36
Fundort II	0,90604282	51	35	37
Fundort I	0,935733786	107	37	38

Tabelle 17: Übersicht über die Anzahl *Galba truncatula*-Funde pro Fundort und Felduntersuchungsdatum

	Fundort I			Fundort II			Fundort III			Fundort IV			Fundort V				
	lebend	tot	gesamt	lebend	tot	gesamt	lebend	tot	gesamt	lebend	tot	gesamt	lebend	tot	gesamt		
18.06.2015	21	0	21	32	0	32	5	1	6	4	3	7	0	0	0	66	33,67 %
27.07.2015	11	2	13	0	1	1	3	4	7	0	0	0	0	0	0	21	10,71 %
26.08.2015	2	0	2	2	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	5	2,55 %
27.09.2015	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,51 %
27.10.2015	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2,04 %
07.05.2016	3	0	3	0	1	1	0	0	0	8	0	8	0	0	0	12	6,12 %
06.06.2016	14	0	14	5	0	5	0	0	0	4	0	4	0	0	0	23	11,73 %
25.07.2016	21	1	22	4	0	4	1	0	1	3	0	3	0	0	0	30	15,31 %
22.08.2016	23	0	23	5	0	5	0	0	0	1	0	1	0	0	0	29	14,80 %
25.09.2016	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2,55 %
	107			51			14			24			0			196	
	54,59 %			26,02 %			7,14 %			12,24 %			0,00 %				100 %

Tabelle 18: Listung der errechneten Wahrscheinlichkeiten pro Rasternummer und Datum

Raster- nummer	Datum	errechnete Wahrscheinlichkeit	gerundete Wahrscheinlichkeit	mediane Wahrschein- lichkeit
1	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
1	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
1	25.07.2016	0,239045257	0,239	
1	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
1	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
1	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
1	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
1	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
1	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
1	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
1				0,3111
2	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
2	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
2	25.07.2016	0,239045257	0,239	
2	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
2	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
2	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
2	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
2	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
2	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
2	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
2				0,3111
3	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
3	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
3	25.07.2016	0,239045257	0,239	
3	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
3	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
3	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
3	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
3	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
3	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
3	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
3				0,3111
4	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
4	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
4	25.07.2016	0,239045257	0,239	
4	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
4	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
4	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
4	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
4	26.08.2015	0,338338931	0,3383	

4	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
4	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
4				0,3111
5	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
5	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
5	25.07.2016	0,239045257	0,239	
5	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
5	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
5	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
5	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
5	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
5	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
5	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
5				0,3111
6	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
6	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
6	25.07.2016	0,239045257	0,239	
6	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
6	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
6	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
6	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
6	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
6	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
6	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
6				0,3111
7	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
7	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
7	25.07.2016	0,239045257	0,239	
7	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
7	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
7	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
7	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
7	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
7	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
7	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
7				0,3111
8	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
8	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
8	25.07.2016	0,239045257	0,239	
8	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
8	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
8	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
8	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
8	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
8	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
8	18.06.2015	0,80113962	0,8011	

8				0,3111
9	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
9	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
9	25.07.2016	0,239045257	0,239	
9	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
9	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
9	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
9	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
9	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
9	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
9	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
9				0,3111
10	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
10	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
10	25.07.2016	0,239045257	0,239	
10	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
10	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
10	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
10	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
10	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
10	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
10	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
10				0,3111
11	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
11	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
11	25.07.2016	0,239045257	0,239	
11	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
11	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
11	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
11	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
11	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
11	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
11	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
11				0,3111
12	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
12	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
12	25.07.2016	0,239045257	0,239	
12	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
12	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
12	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
12	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
12	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
12	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
12	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
12				0,3111
13	25.09.2016	0,485521468	0,4855	

13	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
13	25.07.2016	0,239045257	0,239	
13	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
13	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
13	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
13	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
13	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
13	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
13	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
13				0,3111
14	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
14	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
14	25.07.2016	0,239045257	0,239	
14	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
14	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
14	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
14	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
14	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
14	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
14	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
14				0,3111
15	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
15	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
15	25.07.2016	0,239045257	0,239	
15	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
15	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
15	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
15	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
15	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
15	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
15	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
15				0,3111
16	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
16	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
16	25.07.2016	0,239045257	0,239	
16	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
16	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
16	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
16	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
16	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
16	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
16	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
16				0,3111
17	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
17	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
17	25.07.2016	0,239045257	0,239	

17	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
17	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
17	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
17	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
17	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
17	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
17	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
17				0,3111
18	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
18	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
18	25.07.2016	0,239045257	0,239	
18	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
18	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
18	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
18	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
18	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
18	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
18	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
18				0,3111
19	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
19	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
19	25.07.2016	0,239045257	0,239	
19	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
19	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
19	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
19	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
19	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
19	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
19	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
19				0,3111
20	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
20	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
20	25.07.2016	0,239045257	0,239	
20	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
20	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
20	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
20	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
20	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
20	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
20	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
20				0,3111
21	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
21	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
21	25.07.2016	0,239045257	0,239	
21	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
21	07.05.2016	0,091236219	0,0912	

21	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
21	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
21	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
21	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
21	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
21				0,3111
22	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
22	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
22	25.07.2016	0,239045257	0,239	
22	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
22	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
22	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
22	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
22	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
22	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
22	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
22				0,3111
23	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
23	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
23	25.07.2016	0,239045257	0,239	
23	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
23	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
23	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
23	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
23	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
23	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
23	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
23				0,3111
24	25.09.2016	0,485521468	0,4855	
24	22.08.2016	0,445928058	0,4459	
24	25.07.2016	0,239045257	0,239	
24	06.06.2016	0,101282818	0,1013	
24	07.05.2016	0,091236219	0,0912	
24	27.10.2015	0,283886919	0,2839	
24	27.09.2015	0,283886919	0,2839	
24	26.08.2015	0,338338931	0,3383	
24	27.07.2015	0,568529681	0,5685	
24	18.06.2015	0,80113962	0,8011	
24				0,3111
25	25.09.2016	0,518015114	0,518	
25	22.08.2016	0,478235034	0,4782	
25	25.07.2016	0,288303462	0,2883	
25	06.06.2016	0,144556219	0,1446	
25	07.05.2016	0,130842105	0,1308	
25	27.10.2015	0,369202118	0,3692	
25	27.09.2015	0,369202118	0,3692	

25	26.08.2015	0,430187929	0,4302	
25	27.07.2015	0,661783368	0,6618	
25	18.06.2015	0,853562708	0,8536	
25				0,3997
26	25.09.2016	0,518015114	0,518	
26	22.08.2016	0,478235034	0,4782	
26	25.07.2016	0,288303462	0,2883	
26	06.06.2016	0,144556219	0,1446	
26	07.05.2016	0,130842105	0,1308	
26	27.10.2015	0,369202118	0,3692	
26	27.09.2015	0,369202118	0,3692	
26	26.08.2015	0,430187929	0,4302	
26	27.07.2015	0,661783368	0,6618	
26	18.06.2015	0,853562708	0,8536	
26				0,3997
27	25.09.2016	0,518015114	0,518	
27	22.08.2016	0,478235034	0,4782	
27	25.07.2016	0,288303462	0,2883	
27	06.06.2016	0,144556219	0,1446	
27	07.05.2016	0,130842105	0,1308	
27	27.10.2015	0,369202118	0,3692	
27	27.09.2015	0,369202118	0,3692	
27	26.08.2015	0,430187929	0,4302	
27	27.07.2015	0,661783368	0,6618	
27	18.06.2015	0,853562708	0,8536	
27				0,3997
28	25.09.2016	0,895184333	0,8952	
28	22.08.2016	0,879278964	0,8793	
28	25.07.2016	0,762981708	0,763	
28	06.06.2016	0,573166647	0,5732	
28	07.05.2016	0,544680799	0,5447	
28	27.10.2015	0,823041805	0,823	
28	27.09.2015	0,823041805	0,823	
28	26.08.2015	0,857129487	0,8571	
28	27.07.2015	0,939572824	0,9396	
28	18.06.2015	0,978866927	0,9789	
28				0,8401
29	25.09.2016	0,518015114	0,518	
29	22.08.2016	0,478235034	0,4782	
29	25.07.2016	0,288303462	0,2883	
29	06.06.2016	0,144556219	0,1446	
29	07.05.2016	0,130842105	0,1308	
29	27.10.2015	0,369202118	0,3692	
29	27.09.2015	0,369202118	0,3692	
29	26.08.2015	0,430187929	0,4302	
29	27.07.2015	0,661783368	0,6618	

29	18.06.2015	0,853562708	0,8536	
29				0,3997
30	25.09.2016	0,518015114	0,518	
30	22.08.2016	0,478235034	0,4782	
30	25.07.2016	0,288303462	0,2883	
30	06.06.2016	0,144556219	0,1446	
30	07.05.2016	0,130842105	0,1308	
30	27.10.2015	0,369202118	0,3692	
30	27.09.2015	0,369202118	0,3692	
30	26.08.2015	0,430187929	0,4302	
30	27.07.2015	0,661783368	0,6618	
30	18.06.2015	0,853562708	0,8536	
30				0,3997
31	25.09.2016	0,518015114	0,518	
31	22.08.2016	0,478235034	0,4782	
31	25.07.2016	0,288303462	0,2883	
31	06.06.2016	0,144556219	0,1446	
31	07.05.2016	0,130842105	0,1308	
31	27.10.2015	0,369202118	0,3692	
31	27.09.2015	0,369202118	0,3692	
31	26.08.2015	0,430187929	0,4302	
31	27.07.2015	0,661783368	0,6618	
31	18.06.2015	0,853562708	0,8536	
31				0,3997
32	25.09.2016	0,895184333	0,8952	
32	22.08.2016	0,879278964	0,8793	
32	25.07.2016	0,762981708	0,763	
32	06.06.2016	0,573166647	0,5732	
32	07.05.2016	0,544680799	0,5447	
32	27.10.2015	0,823041805	0,823	
32	27.09.2015	0,823041805	0,823	
32	26.08.2015	0,857129487	0,8571	
32	27.07.2015	0,939572824	0,9396	
32	18.06.2015	0,978866927	0,9789	
32				0,8401
33	25.09.2016	0,895184333	0,8952	
33	22.08.2016	0,879278964	0,8793	
33	25.07.2016	0,762981708	0,763	
33	06.06.2016	0,573166647	0,5732	
33	07.05.2016	0,544680799	0,5447	
33	27.10.2015	0,823041805	0,823	
33	27.09.2015	0,823041805	0,823	
33	26.08.2015	0,857129487	0,8571	
33	27.07.2015	0,939572824	0,9396	
33	18.06.2015	0,978866927	0,9789	
33				0,8401

34	25.09.2016	0,895184333	0,8952	
34	22.08.2016	0,879278964	0,8793	
34	25.07.2016	0,762981708	0,763	
34	06.06.2016	0,573166647	0,5732	
34	07.05.2016	0,544680799	0,5447	
34	27.10.2015	0,823041805	0,823	
34	27.09.2015	0,823041805	0,823	
34	26.08.2015	0,857129487	0,8571	
34	27.07.2015	0,939572824	0,9396	
34	18.06.2015	0,978866927	0,9789	
34				0,8401
35	25.09.2016	0,518015114	0,518	
35	22.08.2016	0,478235034	0,4782	
35	25.07.2016	0,288303462	0,2883	
35	06.06.2016	0,144556219	0,1446	
35	07.05.2016	0,130842105	0,1308	
35	27.10.2015	0,369202118	0,3692	
35	27.09.2015	0,369202118	0,3692	
35	26.08.2015	0,430187929	0,4302	
35	27.07.2015	0,661783368	0,6618	
35	18.06.2015	0,853562708	0,8536	
35				0,3997
36	25.09.2016	0,961170199	0,9612	
36	22.08.2016	0,954772031	0,9548	
36	25.07.2016	0,903194476	0,9032	
36	06.06.2016	0,795584104	0,7956	
36	07.05.2016	0,776144562	0,7761	
36	27.10.2015	0,930940735	0,9309	
36	27.09.2015	0,930940735	0,9309	
36	26.08.2015	0,94561707	0,9456	
36	27.07.2015	0,978291918	0,9783	
36	18.06.2015	0,99260621	0,9926	
36				0,9383
37	25.09.2016	0,949630046	0,9496	
37	22.08.2016	0,941446191	0,9414	
37	25.07.2016	0,876635508	0,8766	
37	06.06.2016	0,747747366	0,7477	
37	07.05.2016	0,725329224	0,7253	
37	27.10.2015	0,911246025	0,9112	
37	27.09.2015	0,911246025	0,9112	
37	26.08.2015	0,929792188	0,9298	
37	27.07.2015	0,971690437	0,9717	
37	18.06.2015	0,990314644	0,9903	
37				0,9205
38	25.09.2016	0,866751965	0,8668	
38	22.08.2016	0,847268213	0,8473	

38	25.07.2016	0,710293695	0,7103	
38	06.06.2016	0,505624008	0,5056	
38	07.05.2016	0,476745628	0,4767	
38	27.10.2015	0,779852601	0,7799	
38	27.09.2015	0,779852601	0,7799	
38	26.08.2015	0,820444869	0,8204	
38	27.07.2015	0,922133955	0,9221	
38	18.06.2015	0,972435381	0,9724	
38				0,8002
39	25.09.2016	0,866751965	0,8668	
39	22.08.2016	0,847268213	0,8473	
39	25.07.2016	0,710293695	0,7103	
39	06.06.2016	0,505624008	0,5056	
39	07.05.2016	0,476745628	0,4767	
39	27.10.2015	0,779852601	0,7799	
39	27.09.2015	0,779852601	0,7799	
39	26.08.2015	0,820444869	0,8204	
39	27.07.2015	0,922133955	0,9221	
39	18.06.2015	0,972435381	0,9724	
39				0,8002
40	25.09.2016	0,895184333	0,8952	
40	22.08.2016	0,879278964	0,8793	
40	25.07.2016	0,762981708	0,763	
40	06.06.2016	0,573166647	0,5732	
40	07.05.2016	0,544680799	0,5447	
40	27.10.2015	0,823041805	0,823	
40	27.09.2015	0,823041805	0,823	
40	26.08.2015	0,857129487	0,8571	
40	27.07.2015	0,939572824	0,9396	
40	18.06.2015	0,978866927	0,9789	
40				0,8401
41	25.09.2016	0,895184333	0,8952	
41	22.08.2016	0,879278964	0,8793	
41	25.07.2016	0,762981708	0,763	
41	06.06.2016	0,573166647	0,5732	
41	07.05.2016	0,544680799	0,5447	
41	27.10.2015	0,823041805	0,823	
41	27.09.2015	0,823041805	0,823	
41	26.08.2015	0,857129487	0,8571	
41	27.07.2015	0,939572824	0,9396	
41	18.06.2015	0,978866927	0,9789	
41				0,8401
42	25.09.2016	0,895184333	0,8952	
42	22.08.2016	0,879278964	0,8793	
42	25.07.2016	0,762981708	0,763	
42	06.06.2016	0,573166647	0,5732	

42	07.05.2016	0,544680799	0,5447	
42	27.10.2015	0,823041805	0,823	
42	27.09.2015	0,823041805	0,823	
42	26.08.2015	0,857129487	0,8571	
42	27.07.2015	0,939572824	0,9396	
42	18.06.2015	0,978866927	0,9789	
42				0,8401
43	25.09.2016	0,961170199	0,9612	
43	22.08.2016	0,954772031	0,9548	
43	25.07.2016	0,903194476	0,9032	
43	06.06.2016	0,795584104	0,7956	
43	07.05.2016	0,776144562	0,7761	
43	27.10.2015	0,930940735	0,9309	
43	27.09.2015	0,930940735	0,9309	
43	26.08.2015	0,94561707	0,9456	
43	27.07.2015	0,978291918	0,9783	
43	18.06.2015	0,99260621	0,9926	
43				0,9383
44	25.09.2016	0,978488222	0,9785	
44	22.08.2016	0,974869015	0,9749	
44	25.07.2016	0,944886937	0,9449	
44	06.06.2016	0,877327765	0,8773	
44	07.05.2016	0,86433631	0,8643	
44	27.10.2015	0,961196755	0,9612	
44	27.09.2015	0,961196755	0,9612	
44	26.08.2015	0,969652748	0,9697	
44	27.07.2015	0,988068477	0,9881	
44	18.06.2015	0,995962718	0,996	
44				0,9655
45	25.09.2016	0,978488222	0,9785	
45	22.08.2016	0,974869015	0,9749	
45	25.07.2016	0,944886937	0,9449	
45	06.06.2016	0,877327765	0,8773	
45	07.05.2016	0,86433631	0,8643	
45	27.10.2015	0,961196755	0,9612	
45	27.09.2015	0,961196755	0,9612	
45	26.08.2015	0,969652748	0,9697	
45	27.07.2015	0,988068477	0,9881	
45	18.06.2015	0,995962718	0,996	
45				0,9655
46	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
46	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
46	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
46	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
46	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
46	27.10.2015	0,895251097	0,8953	

46	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
46	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
46	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
46	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
46				0,9061
47	25.09.2016	0,663858391	0,6639	
47	22.08.2016	0,627458655	0,6275	
47	25.07.2016	0,426732933	0,4267	
47	06.06.2016	0,236944068	0,2369	
47	07.05.2016	0,216685235	0,2167	
47	27.10.2015	0,518192818	0,5182	
47	27.09.2015	0,518192818	0,5182	
47	26.08.2015	0,581116939	0,5811	
47	27.07.2015	0,782398079	0,7824	
47	18.06.2015	0,914609816	0,9146	
47				0,5497
48	25.09.2016	0,895184333	0,8952	
48	22.08.2016	0,879278964	0,8793	
48	25.07.2016	0,762981708	0,763	
48	06.06.2016	0,573166647	0,5732	
48	07.05.2016	0,544680799	0,5447	
48	27.10.2015	0,823041805	0,823	
48	27.09.2015	0,823041805	0,823	
48	26.08.2015	0,857129487	0,8571	
48	27.07.2015	0,939572824	0,9396	
48	18.06.2015	0,978866927	0,9789	
48				0,8401
49	25.09.2016	0,986900092	0,9869	
49	22.08.2016	0,984674923	0,9847	
49	25.07.2016	0,965983399	0,966	
49	06.06.2016	0,922154314	0,9222	
49	07.05.2016	0,913441786	0,9134	
49	27.10.2015	0,976207267	0,9762	
49	27.09.2015	0,976207267	0,9762	
49	26.08.2015	0,981455284	0,9815	
49	27.07.2015	0,992762299	0,9928	
49	18.06.2015	0,997558645	0,9976	
49				0,9789
50	25.09.2016	0,961170199	0,9612	
50	22.08.2016	0,954772031	0,9548	
50	25.07.2016	0,903194476	0,9032	
50	06.06.2016	0,795584104	0,7956	
50	07.05.2016	0,776144562	0,7761	
50	27.10.2015	0,930940735	0,9309	
50	27.09.2015	0,930940735	0,9309	
50	26.08.2015	0,94561707	0,9456	

50	27.07.2015	0,978291918	0,9783	
50	18.06.2015	0,99260621	0,9926	
50				0,9383
51	25.09.2016	0,978488222	0,9785	
51	22.08.2016	0,974869015	0,9749	
51	25.07.2016	0,944886937	0,9449	
51	06.06.2016	0,877327765	0,8773	
51	07.05.2016	0,86433631	0,8643	
51	27.10.2015	0,961196755	0,9612	
51	27.09.2015	0,961196755	0,9612	
51	26.08.2015	0,969652748	0,9697	
51	27.07.2015	0,988068477	0,9881	
51	18.06.2015	0,995962718	0,996	
51				0,9655
52	25.09.2016	0,978488222	0,9785	
52	22.08.2016	0,974869015	0,9749	
52	25.07.2016	0,944886937	0,9449	
52	06.06.2016	0,877327765	0,8773	
52	07.05.2016	0,86433631	0,8643	
52	27.10.2015	0,961196755	0,9612	
52	27.09.2015	0,961196755	0,9612	
52	26.08.2015	0,969652748	0,9697	
52	27.07.2015	0,988068477	0,9881	
52	18.06.2015	0,995962718	0,996	
52				0,9655
53	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
53	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
53	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
53	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
53	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
53	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
53	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
53	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
53	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
53	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
53				0,9061
54	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
54	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
54	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
54	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
54	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
54	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
54	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
54	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
54	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
54	18.06.2015	0,988387596	0,9884	

54				0,9061
55	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
55	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
55	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
55	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
55	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
55	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
55	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
55	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
55	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
55	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
55				0,9061
56	25.09.2016	0,663858391	0,6639	
56	22.08.2016	0,627458655	0,6275	
56	25.07.2016	0,426732933	0,4267	
56	06.06.2016	0,236944068	0,2369	
56	07.05.2016	0,216685235	0,2167	
56	27.10.2015	0,518192818	0,5182	
56	27.09.2015	0,518192818	0,5182	
56	26.08.2015	0,581116939	0,5811	
56	27.07.2015	0,782398079	0,7824	
56	18.06.2015	0,914609816	0,9146	
56				0,5497
57	25.09.2016	0,663858391	0,6639	
57	22.08.2016	0,627458655	0,6275	
57	25.07.2016	0,426732933	0,4267	
57	06.06.2016	0,236944068	0,2369	
57	07.05.2016	0,216685235	0,2167	
57	27.10.2015	0,518192818	0,5182	
57	27.09.2015	0,518192818	0,5182	
57	26.08.2015	0,581116939	0,5811	
57	27.07.2015	0,782398079	0,7824	
57	18.06.2015	0,914609816	0,9146	
57				0,5497
58	25.09.2016	0,961170199	0,9612	
58	22.08.2016	0,954772031	0,9548	
58	25.07.2016	0,903194476	0,9032	
58	06.06.2016	0,795584104	0,7956	
58	07.05.2016	0,776144562	0,7761	
58	27.10.2015	0,930940735	0,9309	
58	27.09.2015	0,930940735	0,9309	
58	26.08.2015	0,94561707	0,9456	
58	27.07.2015	0,978291918	0,9783	
58	18.06.2015	0,99260621	0,9926	
58				0,9383
59	25.09.2016	0,978488222	0,9785	

59	22.08.2016	0,974869015	0,9749	
59	25.07.2016	0,944886937	0,9449	
59	06.06.2016	0,877327765	0,8773	
59	07.05.2016	0,86433631	0,8643	
59	27.10.2015	0,961196755	0,9612	
59	27.09.2015	0,961196755	0,9612	
59	26.08.2015	0,969652748	0,9697	
59	27.07.2015	0,988068477	0,9881	
59	18.06.2015	0,995962718	0,996	
59				0,9655
60	25.09.2016	0,978488222	0,9785	
60	22.08.2016	0,974869015	0,9749	
60	25.07.2016	0,944886937	0,9449	
60	06.06.2016	0,877327765	0,8773	
60	07.05.2016	0,86433631	0,8643	
60	27.10.2015	0,961196755	0,9612	
60	27.09.2015	0,961196755	0,9612	
60	26.08.2015	0,969652748	0,9697	
60	27.07.2015	0,988068477	0,9881	
60	18.06.2015	0,995962718	0,996	
60				0,9655
61	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
61	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
61	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
61	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
61	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
61	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
61	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
61	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
61	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
61	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
61				0,9061
62	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
62	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
62	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
62	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
62	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
62	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
62	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
62	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
62	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
62	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
62				0,9061
63	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
63	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
63	25.07.2016	0,855393014	0,8554	

63	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
63	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
63	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
63	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
63	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
63	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
63	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
63				0,9061
64	25.09.2016	0,663858391	0,6639	
64	22.08.2016	0,627458655	0,6275	
64	25.07.2016	0,426732933	0,4267	
64	06.06.2016	0,236944068	0,2369	
64	07.05.2016	0,216685235	0,2167	
64	27.10.2015	0,518192818	0,5182	
64	27.09.2015	0,518192818	0,5182	
64	26.08.2015	0,581116939	0,5811	
64	27.07.2015	0,782398079	0,7824	
64	18.06.2015	0,914609816	0,9146	
64				0,5497
65	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
65	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
65	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
65	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
65	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
65	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
65	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
65	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
65	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
65	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
65				0,9061
66	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
66	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
66	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
66	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
66	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
66	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
66	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
66	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
66	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
66	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
66				0,9061
67	25.09.2016	0,663858391	0,6639	
67	22.08.2016	0,627458655	0,6275	
67	25.07.2016	0,426732933	0,4267	
67	06.06.2016	0,236944068	0,2369	
67	07.05.2016	0,216685235	0,2167	

67	27.10.2015	0,518192818	0,5182	
67	27.09.2015	0,518192818	0,5182	
67	26.08.2015	0,581116939	0,5811	
67	27.07.2015	0,782398079	0,7824	
67	18.06.2015	0,914609816	0,9146	
67				0,5497
68	25.09.2016	0,978488222	0,9785	
68	22.08.2016	0,974869015	0,9749	
68	25.07.2016	0,944886937	0,9449	
68	06.06.2016	0,877327765	0,8773	
68	07.05.2016	0,86433631	0,8643	
68	27.10.2015	0,961196755	0,9612	
68	27.09.2015	0,961196755	0,9612	
68	26.08.2015	0,969652748	0,9697	
68	27.07.2015	0,988068477	0,9881	
68	18.06.2015	0,995962718	0,996	
68				0,9655
69	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
69	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
69	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
69	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
69	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
69	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
69	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
69	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
69	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
69	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
69				0,9061
70	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
70	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
70	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
70	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
70	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
70	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
70	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
70	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
70	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
70	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
70				0,9061
71	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
71	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
71	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
71	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
71	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
71	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
71	27.09.2015	0,895251097	0,8953	

71	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
71	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
71	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
71				0,9061
72	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
72	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
72	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
72	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
72	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
72	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
72	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
72	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
72	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
72	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
72				0,9061
73	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
73	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
73	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
73	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
73	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
73	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
73	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
73	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
73	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
73	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
73				0,9061
74	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
74	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
74	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
74	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
74	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
74	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
74	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
74	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
74	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
74	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
74				0,9061
75	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
75	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
75	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
75	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
75	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
75	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
75	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
75	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
75	27.07.2015	0,966184354	0,9662	

75	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
75				0,9061
76	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
76	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
76	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
76	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
76	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
76	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
76	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
76	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
76	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
76	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
76				0,9061
77	25.09.2016	0,663858391	0,6639	
77	22.08.2016	0,627458655	0,6275	
77	25.07.2016	0,426732933	0,4267	
77	06.06.2016	0,236944068	0,2369	
77	07.05.2016	0,216685235	0,2167	
77	27.10.2015	0,518192818	0,5182	
77	27.09.2015	0,518192818	0,5182	
77	26.08.2015	0,581116939	0,5811	
77	27.07.2015	0,782398079	0,7824	
77	18.06.2015	0,914609816	0,9146	
77				0,5497
78	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
78	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
78	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
78	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
78	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
78	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
78	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
78	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
78	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
78	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
78				0,9061
79	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
79	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
79	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
79	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
79	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
79	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
79	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
79	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
79	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
79	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
79				0,9061

80	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
80	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
80	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
80	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
80	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
80	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
80	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
80	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
80	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
80	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
80				0,9061
81	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
81	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
81	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
81	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
81	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
81	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
81	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
81	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
81	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
81	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
81				0,9061
82	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
82	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
82	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
82	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
82	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
82	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
82	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
82	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
82	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
82	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
82				0,9061
83	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
83	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
83	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
83	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
83	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
83	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
83	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
83	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
83	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
83	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
83				0,9061
84	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
84	22.08.2016	0,930478602	0,9305	

84	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
84	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
84	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
84	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
84	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
84	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
84	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
84	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
84				0,9061
85	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
85	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
85	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
85	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
85	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
85	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
85	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
85	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
85	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
85	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
85				0,9061
86	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
86	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
86	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
86	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
86	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
86	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
86	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
86	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
86	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
86	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
86				0,9061
87	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
87	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
87	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
87	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
87	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
87	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
87	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
87	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
87	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
87	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
87				0,9061
88	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
88	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
88	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
88	06.06.2016	0,711612306	0,7116	

88	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
88	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
88	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
88	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
88	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
88	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
88				0,9061
89	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
89	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
89	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
89	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
89	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
89	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
89	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
89	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
89	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
89	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
89				0,9061
90	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
90	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
90	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
90	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
90	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
90	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
90	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
90	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
90	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
90	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
90				0,9061
91	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
91	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
91	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
91	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
91	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
91	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
91	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
91	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
91	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
91	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
91				0,9061
92	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
92	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
92	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
92	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
92	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
92	27.10.2015	0,895251097	0,8953	

92	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
92	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
92	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
92	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
92				0,9061
93	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
93	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
93	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
93	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
93	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
93	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
93	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
93	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
93	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
93	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
93				0,9061
94	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
94	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
94	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
94	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
94	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
94	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
94	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
94	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
94	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
94	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
94				0,9061
95	25.09.2016	0,940097822	0,9401	
95	22.08.2016	0,930478602	0,9305	
95	25.07.2016	0,855393014	0,8554	
95	06.06.2016	0,711612306	0,7116	
95	07.05.2016	0,687325634	0,6873	
95	27.10.2015	0,895251097	0,8953	
95	27.09.2015	0,895251097	0,8953	
95	26.08.2015	0,916834544	0,9168	
95	27.07.2015	0,966184354	0,9662	
95	18.06.2015	0,988387596	0,9884	
95				0,9061

X. DANKSAGUNG

Mein größter Dank gilt Frau Prof. Dr. Gabriela Knubben-Schweizer für die Überlassung dieses Themas, welches mich dazu gebracht hat eine nicht geahnte Begeisterung für Zwergschlammschnecken zu entwickeln, so dass ich mittlerweile auf jeder Wanderung nach ihnen Ausschau halte. Danke für die fachliche und mentale Unterstützung betreffend der Doktorarbeit, aber auch in allen anderen Lebenslagen. Immer hattest du ein offenes Ohr für mich. Danke auch für die Ausflüge ins Allgäu mit anschließenden gemeinsamen Feldbegehungen des Untersuchungsgebietes. Es war mir jedes Mal eine große Freude von dir lernen zu können, mit dir bei jeder Wetterlage über Gräben zu hängen und stets gute Unterhaltungen zu führen.

Weiterhin möchte ich mich beim Landesamt für Umwelt, insbesondere bei Herrn Dr. Walter Martin bedanken, der mir fachkundig und geduldig sämtliche bodenkundliche Fragestellungen beantworten konnte. Dank ihm gelangte der benötigte Datensatz erst zu seiner Vollständigkeit.

Frau Dr. Nadja Pöllath danke ich für das Erstellen der Risikokarten und der damit verbundenen sehr schnellen, freundlichen und angenehmen Zusammenarbeit.

Bei Frau Dr. Anna Rieger möchte ich mich für die Unterstützung bei den statistischen Fragestellungen bedanken. Danke Anna, dass du stets so schnell auf meine Emails geantwortet hast, mir die für mich fremde Welt der Statistik etwas näher gebracht hast und es mir mit deiner netten und geduldigen Art leicht gemacht hast jede noch so verständnislose Frage zu stellen. Nach jedem Treffen mit dir hatte ich das Gefühl meinem Ziel ein kleines Stückchen näher gekommen und etwas schlauer zu sein als zuvor.

Den Herren Paulus und Schwarz gilt mein besonderer Dank, da sie mir die Flächen ihres Betriebes als Untersuchungsgebiet und damit zur Schneckensuche zur Verfügung gestellt haben.

Ferner bedanke ich mich bei Frau Katrin Freund, die mit großer Geduld und Begeisterung zur Bestimmung gesammelte Schnecken für mich identifizieren konnte.

Ein Herzlicher Dank gebührt außerdem dem gesamten Team der Klinik für Wiederkäufer. Ich habe mich zu jeder Zeit wertgeschätzt und gut aufgehoben gefühlt und sehe das kollegiale Arbeitsklima als etwas Außergewöhnliches an, für das ich allen sehr dankbar bin. Ganz besonders möchte ich meine Mitdoktoranden hervorheben, die mir in den letzten vier Jahren sehr ans Herz gewachsen sind und so von Kollegen zu Freunden wurden. Ohne euch wäre vieles deutlich schwergängiger gelaufen.

Abschließend möchte ich meiner Familie danken. Ihr wart mir zu jederzeit ein Rückhalt und standet mir mit Rat und Tat zur Seite. Danke Papa, für die vielen Stunden, in denen wir gemeinsam über das Thema gebrütet und nach Lösungen gesucht haben. Du warst mir eine unbeschreiblich große Hilfe. Danke Mama, Tascha und Ina, dass ihr bereit wart immer wieder Abschnitte meiner Arbeit zu lesen, zu korrigieren und eure Ideen mitzuteilen. Danke lieber Tobi, für dein Verständnis und deine Unterstützung.

„ Ich wurde geboren mit einem sonnigen Gemüt und der Gewissheit, dass die Welt verrückt ist.“ - John Irving